

Felix Rasper

Entwicklung von variablen Airboxen sowie
Konstruktion und Fertigung einer resultierenden
Airbox für einen Formelrennwagen.

BACHELORARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau

Mittweida, 2010

Felix Rasper

Entwicklung von variablen Airboxen sowie
Konstruktion und Fertigung einer resultierenden
Airbox für einen Formelrennwagen.

eingereicht als

BACHELORARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau

Mittweida, 2010

Erstprüfer:	Prof. Dr. Frank Weidermann
Zweitprüfer:	Prof. Andreas Wüstrich

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am

Bibliographische Beschreibung

Rasper, Felix:

Entwicklung von variablen Airboxen sowie Konstruktion und Fertigung einer resultierenden Airbox für einen Formelrennwagen. - 2010. – 53 Seiten.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2010

Referat

Ziel der Bachelorarbeit war es, einen Ansaugtrakt eines Formula Student Teams zu verbessern. Hierzu werden die Grundlagen eines Ansaugtraktes behandelt und eine Analyse des gegebenen Ansaugtraktes durchgeführt. Auf Basis dieses Wissens werden 4 Varianten diskutiert und eine resultierende Variante gestaltet. Hierbei wird besonders auf die konstruktiven Eigenschaften und die Fertigung eingegangen. Des Weiteren wird anhand eines Bauteiles das Laminieren mit Kohlefaser näher beschrieben.

Diese Arbeit ist im Rahmen des Projektes Formula Student an der Hochschule Mittweida (FH) entstanden und soll eine Grundlage für die weitere Entwicklungen des Ansaugtraktes dienen.

Schlagwörter: Ansaugtrakt, Ansaugung, Formula Student

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Beschreibung.....	III
Referat.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Nomenklatur	IX
1. Einleitung.....	1
2. Der Ansaugtrakt	4
3. Aufbau und Funktionsweisen der Komponenten	4
4. Konstruktive Umsetzung.....	14
4.1 Konzept	14
4.2 Die 4 entwickelten Varianten	19
4.3 Die resultierende Variante	23
4.3.1 Ansaugstutzen mit Luftfilter und Temperatursensor	24
4.3.2 Drosselklappe mit Bowdenzuganbindung und Potentiometer.....	25
4.3.3 Lavaldüse mit Luftmengenbegrenzungsring	26
4.3.4 Verteilervolumen mit Einspritzung.....	28
4.3.5 Saugrohr mit Ansaugtrichter und Motoranbindung	34
5. theoretische Strömungsanalyse	39
6. Laminate aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen	46
6.1 Zu verwendendes Fasermaterial	46
6.2 Als Kunstharz kommt zum Einsatz	47
7. Herstellung der laminierten Bauteile	48

8. Erprobung und Zusammenfassung	51
9. Literaturverzeichnis.....	53
10. Anlagenverzeichnis	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: allgemeiner Aufbau der Airbox mit Luftmengenbegrenzer	5
Abbildung 2: Darstellung der Drossel und der dadurch entstehende Luftfluss....	6
Abbildung 3: Längenauswirkung bei der Lavaldüse	6
Abbildung 4: grundsätzliche Formen eines Verteilervolumens	8
Abbildung 5: Einspritzung in das Verteilervolumen im Vorjahr	9
Abbildung 6: Einspritzung in das neue Verteilervolumen	10
Abbildung 7: Versuchsergebnisse an einem Rennmotor.....	11
Abbildung 8: Maximalleistung als Funktion der Saugrohre.....	12
Abbildung 9: Fortpflanzung der Unter- und Überdruckwelle	12
Abbildung 10: Überrollbereich von der Seite und von hinten gesehen.....	14
Abbildung 11: Einspritzung in den Ansaugtrakt	17
Abbildung 12: Ansaugtrichter im Ansaugtrakt.....	18
Abbildung 13: Ansaugtrakt Variante 1	19
Abbildung 14: Aufbau Ansaugtrakt Variante 1	19
Abbildung 15: Ansaugtrakt Variante 2	20
Abbildung 16: Aufbau Ansaugtrakt Variante 2	20
Abbildung 17: Ansaugtrakt Variante 3	21
Abbildung 18: Darstellung der Vereinfachung der Luftwege	21
Abbildung 19: Aufbau Ansaugtrakt Variante 3	21
Abbildung 20: Ansaugtrakt Variante 4	22
Abbildung 21: Aufbau Ansaugtrakt Variante 4	22
Abbildung 22: resultierende Variante des Ansaugtraktes	23

Abbildung 23: Aufbau Ansaugstutzen.....	24
Abbildung 24: Drosselklappe, Bowdenzuganbindung und Potentiometer	25
Abbildung 25: Aufbau der Lavaldüse	26
Abbildung 26: Fertigungsaufbau für das Laminieren der Lavaldüse	27
Abbildung 27: Aufbau und Aufteilung des Extrahierungsteiles	28
Abbildung 28: Fertigungsaufbau für ein Extrahierungsteil	29
Abbildung 29: Aufbau und Aufteilung des Verteilervolumenunterteils	29
Abbildung 30: einlamierte Aluminiumplatte	30
Abbildung 31: Fertigungsaufbau oberes Teil des Verteilervolumenunterteils....	31
Abbildung 32: Aufbau der Einspritzung	33
Abbildung 33 Zwischenstücken zur Volumenvergrößerung	33
Abbildung 34: Saugrohr mit Ansaugtrichter und Motoranbindung	34
Abbildung 35: Fertigungsaufbau für ein Saugrohr	35
Abbildung 36: Ansaugtrichter.....	36
Abbildung 37: unterschiedlich lange Ansaugtrichter	36
Abbildung 38: Motoranbindung	37
Abbildung 39: Geschwindigkeitsermittlung an einem Einlassventil	40
Abbildung 40: Anpassung der Geschwindigkeit	40
Abbildung 41: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 1	42
Abbildung 42: Luftströmung beim Übergang von Ventil 1 zu 3.....	42
Abbildung 43: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 3.....	43
Abbildung 44: Luftströmung beim Übergang von Ventil 3 zu 4.....	43
Abbildung 45: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 4.....	44
Abbildung 46: Luftströmung beim Übergang von Ventil 4 zu 2.....	44

Abbildung 47: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 2.....	45
Abbildung 48: Positiv- und Negativform der Laminierform	48
Abbildung 49: Aufteilung der Lamine.....	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Disziplinen und Punktevergabe bei der Formula Student.....	2
---	---

Nomenklatur

Formelzeichen

A_{Rs}	Restriktorquerschnitt	$[m^2]$
d_{Rs}	Restriktordurchmesser	$[m]$
H_u	spezifischer Heizwert	$[J/kg]$
i	Taktzahl, $i = 0,5$ für 4-Takter	$[-]$
L_{min}	Luftbedarf	$[-]$
λ	Luftverhältnis	$[-]$
$\dot{m}_{th,max}$	maximaler, theoretischer Luftmassenstrom	$[kg/s]$
η_e	effektiver Wirkungsgrad	$[-]$
$n_{M,krit}$	kritische Drehzahl	$[min^{-1}]$
$P_{e,th,max}$	maximale, theoretische Motorleistung	$[kW]$
V_h	Hubvolumen	$[m^3]$
z	Anzahl der Zylinder	$[-]$
κ	Isentropenexponent	$[-]$
R_i	individuelle Gaskonstante	$[J/(kg\ K)]$
T_{Um}	Umgebungstemperatur	$[K]$
a	Schallgeschwindigkeit	$[m/s]$

Abkürzungen

FSG Formula Student Germany
SAE Society of Automotive Engineers
VDI Verein Deutscher Ingenieure

1. Einleitung

1981 gründete die amerikanische Gesellschaft für Automobilindustrie die Formula SAE. Hierbei handelt es sich um einen Konstruktionswettbewerb, indem Studenten ihr theoretisch Wissen durch den Bau eines Serienrennwagens in die Praxis umsetzen sollen. Nach kurzer Zeit fand dieser Wettbewerb Bedeutung in anderen Ländern, wodurch seit 2006 dieser auch in Deutschland ausgetragen wird. Alljährlich findet daher nun, durch die Leitung des VDI, die Formula Student Germany am Hockenheimring statt. Das Ziel des Wettbewerbs besteht darin, eine fiktive Produktionsfirma anzunehmen, welche zum größten Teil aus Konstrukteuren besteht. Diese haben die Aufgabe einen Prototyp eines einsitzigen Formelrennwagens für die Serienproduktion zu konzipieren und zu bauen. Die Zielgruppe soll dabei der nichtprofessionelle Wochenendrennfahrer sein.

Es gibt in dem Wettbewerb 2 Arten von Disziplinen, welche sich wiederum in einzelne Events einteilen und mit Punkten bewertet werden.

In der statischen Disziplin geht es um die Kosten, die Vermarktung und den konstruktiven Eigenschaften des Serienrennwagens. Somit sind es drei Events, die man bewältigen muss. Die Business Plan Presentation, der Cost Report und der Engineering Design Event. Bei der Business Plan Presentation geht es um die Vorstellung und die Anwendung des Verkaufskonzeptes vor einer Fachjury. Hierbei werden die Verkaufs- und Vermarktungsstrategien angewendet und somit vorgestellt. Bei dem Cost Report geht es um die Vorstellung der einzelnen Kosten für die Herstellung des Rennwagens. Es ist daher wichtig von Anfang an einen Rennwagen zu konzipieren, bei dem man die Kosten der Herstellung niedrig halten kann. Beim Engineering Design Event geht es um die konstruktive Umsetzung der einzelnen Komponenten und ihre Vorstellung.

Die 2te Art der Disziplin ist die dynamische Disziplin. Sie teilt sich in das Skid Pad, Acceleration, Autocross, Endurance und Fuel Efficiency Event ein. Beim Skid Pad Event muss ein zweiründiger Kurs durchfahren werden, welcher die Form einer acht aufweist[2]. Desweiteren gehört der Kipptest für die Prüfung der Kurventauglichkeit dazu. Beim Acceleration Event wird die Beschleunigung auf einem geraden Stück von einer Länge von 75m gemessen. Dabei wird aus dem Stand beschleunigt und die Endgeschwindigkeit und die Zeit für die Strecke bewertet[2]. Außerdem gehören der Autocross Event, ein abgesteckter Rundkurs von 800m und der Endurance Event, einem Rundkurs von 22 km zu den angesehensten dynamischen Events. Beim Endurance treten alle Teams im direkten Vergleich in einem Rennen gegeneinander an. Dies ist somit auch, dass am höchsten bewertete Event bei der Punktevergabe. Beim Fuel Efficiency Event wird, wie der Name schon sagt, in Verbindung mit dem Endurance der Treibstoffverbrauch ermittelt.

Art der Disziplin	Disziplin	Punkte
statische Events	Business Plan Presentation	75
	Cost Report	100
	Engineering Design Event	150
	Gesamt	325
dynamische Events	Skid Pad	75
	Acceleration	75
	Autocross	100
	Fuel Efficiency	100
	Endurance	325
	Gesamt	675
Gesamt		1000

Tabelle 1: Disziplinen und Punktevergabe bei der Formula Student 2010[3]

Auf das Endurance Event wird besonders ein Augenmerk gelegt, da hier die Rennwagen auf ihre Dauerhaftigkeit geprüft und es daher die meisten Punkte gibt. Es ist von großer Bedeutung diesen Event erfolgreich zu absolvieren, um eine Platzierung in dem vordersten Startfeld zu erreichen.

Da im Vorjahr das vorderste Startfeld nicht erreicht wurde, hat das Team den Rennwagen auf konstruktive Defizite hin analysiert. Dabei ist aufgefallen, dass auch der Ansaugtrakt Defizite aufweist. Er wurde darauf konzipiert, dass der Motor im niedrigen Drehzahlbereich hohe Leistung erzielt, jedoch wird dadurch die Maximalleistung des Motors nicht mehr erreicht. Der Motor erhält durch die langen Wege im Ansaugtrakt nicht mehr genug Luft in hohen Drehzahlen. Diesbezüglich gehe ich in meiner Bachelorarbeit auf die Grundlagen des Ansaugtraktes und die Lösung dieses Problems ein. Desweiteren steht die Konstruktion, basierend auf den Grundlagen eines Ansaugtraktes, und die Fertigung des Ansaugtraktes im Vordergrund dieser Arbeit. Den Abschluss bildet eine kurze Zusammenfassung der im Projekt erworbenen Kenntnisse und Auswertung der Ergebnisse.

2. Der Ansaugtrakt

Der Ansaugtrakt dient zur möglichst verlustfreien Versorgung des Motors mit Luft und ist somit ein Herzstück des Motors. Bei der Auslegung des Ansaugtraktes muss darauf geachtet, dass es zu keinen Querschnittssprüngen und Trennstellen kommt, da an diesen Stellen es zu Verwirbelungen kommt und zur Minimierung der Leistung des Motors[6]. Die Innenwände müssen eine glatte Oberfläche aufweisen um Wandreibung und somit entstehende Verwirbelungen zu vermeiden. Auch die Länge des Saugweges ist von Bedeutung, da es auch hier zu Leistungseinbußen und schlechten Ansprechverhalten des Motors kommen kann. Das Ziel ist es daher eine möglichst verlustfreie Versorgung des Motors mit Luft zu gewährleisten und eine eventuell Drucksteigerung zum Brennraum hin zu erreichen.

Der prinzipielle Aufbau eines Ansaugtraktes für einen Formula Student Rennwagens ist immer gleich und unterscheidet sich nur in der Form, der Steuerung und der Aufladung. Im nachfolgenden Kapitel wird auf den Aufbau und die Funktionsweise der einzelnen Komponenten eines Ansaugtraktes näher eingegangen.

3. Aufbau und Funktionsweisen der Komponenten

In der Abbildung 1 ist der prinzipielle Aufbau eines Ansaugtraktes für einen Formula Student Rennwagen dargestellt. Die Ansaugung der Rohluft findet immer an einer dafür geeigneten Stelle des Fahrzeugs statt [6]. Zwischen dem Fahrerhelm und dem Überrollbügel hat man zum Beispiel eine Drucksteigerung durch Luftstau, welche eine Drucksteigerung in den Brennkammer zufolge haben kann. Desweiteren ist die Luft an dieser Stelle kühl und hat eine erhöhte Geschwindigkeit, was sich wiederum positiv auf die Verbrennung des Motors und somit auf die Leistung auswirkt.

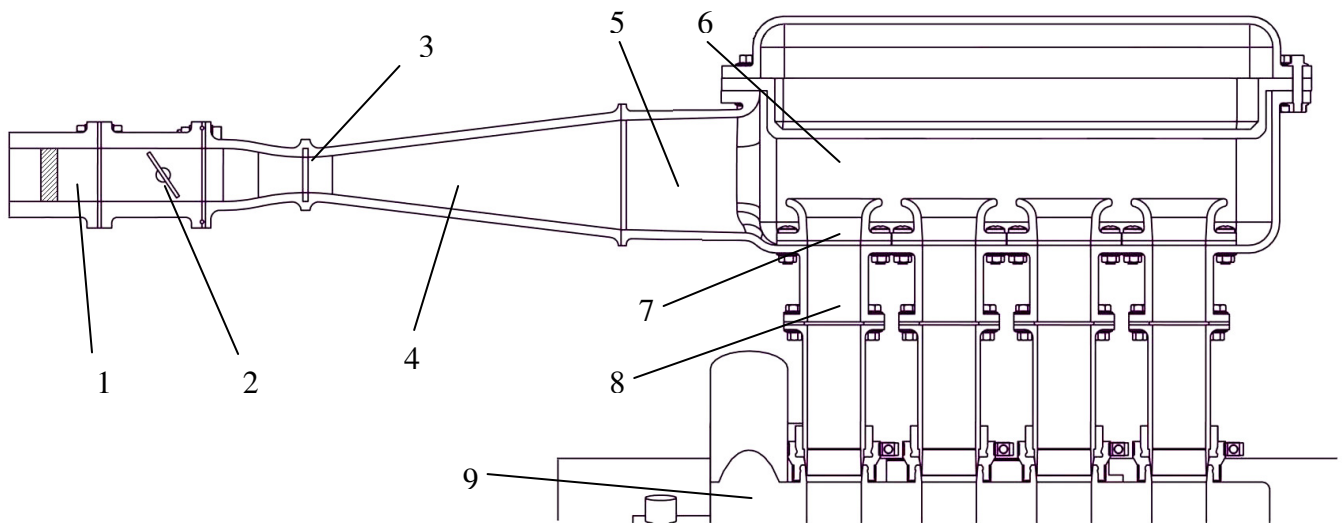


Abbildung 1: allgemeiner Aufbau der Airbox mit Luftmengenbegrenzer

- | | |
|-----------------------------------|--------------------|
| 1 Rohluftansaugung mit Luftfilter | 6 Verteilervolumen |
| 2 Drossel | 7 Ansaugtrichter |
| 3 Luftmengenbegrenzer | 8 Saugrohr |
| 4 Lavaldüse | 9 Motorblock |
| 5 Reinluftleitung | |

Am Einlass des Ansaugtraktes befindet sich die Rohluftansaugung. Die Luft wird hier mittels eines Ansaugstutzens in den Ansaugtrakt gesaugt und über einen Filter von Schmutzpartikeln befreit. Es bietet sich an hier direkt am Einlass auch die Temperatur der angesaugten Luft zu messen und daher einen Lufttemperatursensor bei der konstruktiven Gestaltung mit vorzusehen. Dieser wird zur Steuerung der Einspritzung benötigt. Nach dem Ansaugstutzen und dem Luftfilter schließt sich die Drosselklappe an, die als das steuernde Element für die dem Motor zugeführte Luft vorgesehen ist.

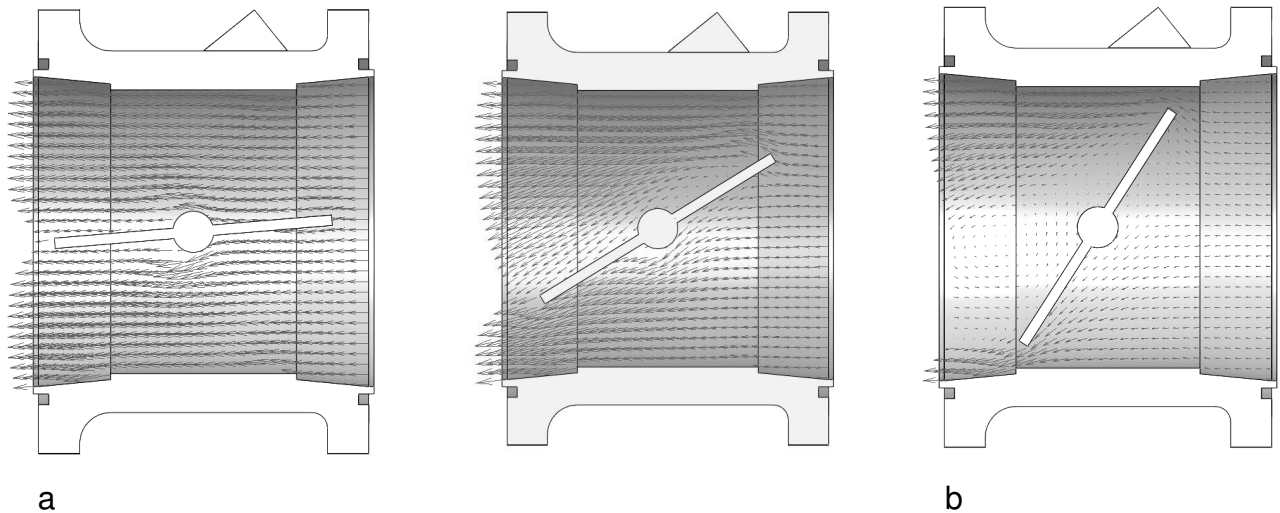


Abbildung 2: Darstellung der Drossel und der dadurch entstehende Luftfluss

- a Drosselstellung bei Vollast
- b Drosselstellung bei Teillast

An die Drosselklappenwelle ist ein Potentiometer angeschlossen um die Winkelstellung der Drosselklappe an die Einspritzsteuerung zu übermitteln. Anschließend fließt die Luft durch die Reinfluftleitung die als Lavaldüse mit integriertem Luftmengenbegrenzzerring ausgelegt ist. Die Lavaldüse sorgt für eine Beruhigung der Luft und kann durch ihre Auslegungslänge die Motorleistung in einzelnen Drehzahlbereichen beeinflussen. Die Abbildung 3 stellt die unterschiedlichen Auswirkungen unterschiedlicher Lavaldüsenlängen da.

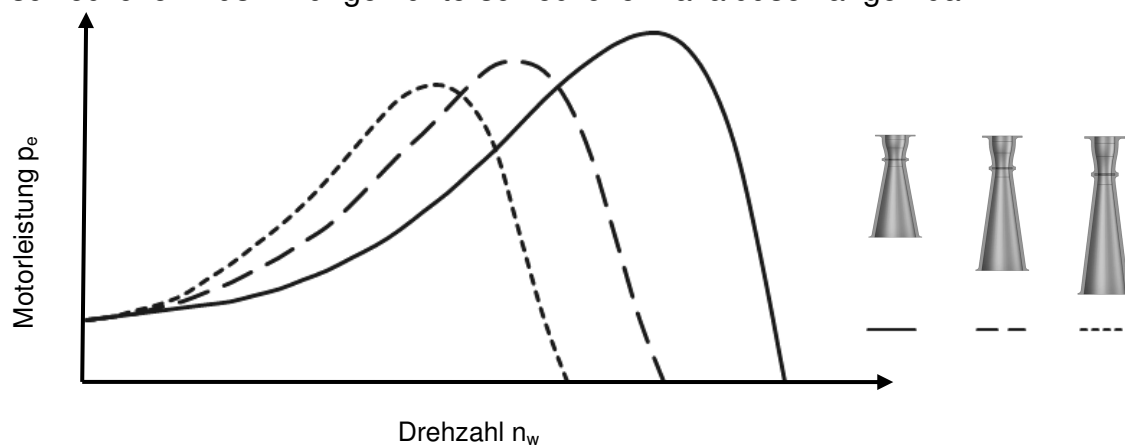


Abbildung 3: Längenauswirkung bei der Lavaldüse

Eine kurze Lavalldüse sorgt für eine Beruhigung der Luft und ein gutes Ansprechverhalten des Motors. Die Maximalleistung des Motors liegt in einem hohen Drehzahlbereich was zu einer guten Motorleistung führt. Bei falscher Auslegung des Ansaugtraktes kann es jedoch zu einem Leistungstief in niedrigen Drehzahlbereichen führen. Eine lange Lavalldüse führt zu hoher Leistung in niedrigen Drehzahlbereichen, wirkt sich jedoch negativ auf die Maximalleistung des Motors aus, da diese in einen niedrigeren Drehzahlbereich geschoben wird und dadurch geringer ausfällt. Da im Vorjahr die Lavalldüse sehr lang ausgelegt wurde ist es in Verbindung mit langen Saugrohren zu einer Leistungseinbuße und schlechten Ansprechverhalten des Motors gekommen. Desweiteren darf der Öffnungswinkel der Lavalldüse nur zwischen 6° und 9° liegen, da es ansonsten bei kleinen Winkeln zu keiner Beruhigung der Strömung kommt und bei größeren Winkeln zu einer Ablösung der Strömung von den Innenwänden. Dies führt wiederum zu Verwirbelungen im Ansaugtrakt und wirkt sich negativ auf die Motorleistung aus.

Laut Reglement der Formula Student Germany ist eine Engstelle im Ansaugtrakt vorgesehen, die einen maximalen Durchmesser von 20 mm haben darf. Diese ist notwendig, um die Gleichheit der einzelnen Monoposti zu gewährleisten. Die Engstelle wird meist als Luftmengenbegrenzerring aus Aluminium ausgelegt, da dieser exakter und einfacher zu fertigen ist, als zum Beispiel ein reines Laminat mit vorgesehener Engstelle. Meist wird der Ring in die Lavalldüse integriert, da sie ja sowieso eine Engstelle zur Verdichtung der Luft aufweist. In unserem Fall ist der Ring direkt mit in die Lavalldüse einlaminieren wurden.

Als nächstes gelangt die angesaugte Luft in das Verteilervolumen. Dieses Volumen sollte eine ungefähre Größe von 3-5 Liter aufweisen, um dem Motor bei Lastwechseln genügend Luft zur Verfügung zu stellen, aber trotzdem nicht zu viel Luft zu geben, um die Ansprechzeit des Motors auf eine Drosselklappenwinkeländerung minimal zu halten. Es gibt 2 grundsätzliche Formen eines Verteilervolumens.

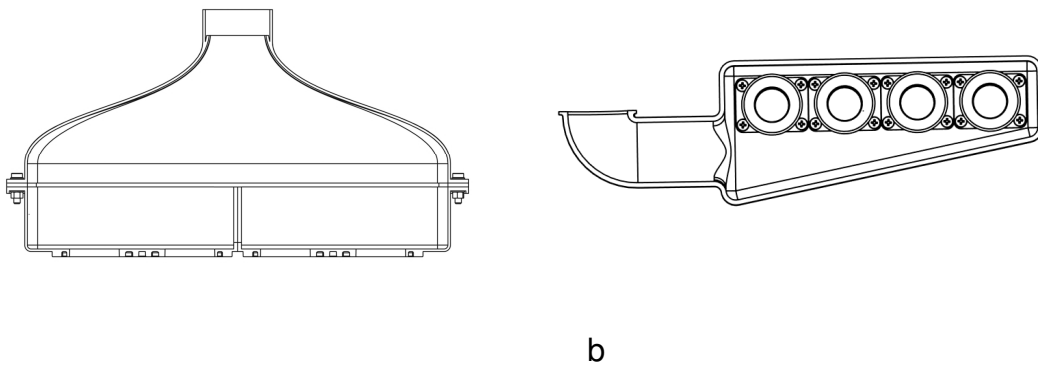


Abbildung 4: grundsätzliche Formen eines Verteilervolumens

a Verteilervolumen mit mittiger Zuführung der Luft

b Verteilervolumen mit seitlicher Zuführung der Luft

Die Form mit dem mittigen Einlass und die Form mit dem seitlichen Einlass der Luft in das Verteilervolumen. Bei der Form mit dem seitlichen Einlass kommt es meist zu extrem unterschiedlichen Versorgungen der einzelnen Brennräume mit Luft. Dies liegt darin begründet, dass der Brennraum, der am nächsten am Einlass liegt, auch am besten mit Luft versorgt werden kann, wohingegen der am weitesten entfernte Brennraum am schlechtesten versorgt wird. Dies kann durch eine konstruktive Anpassung des Verteilervolumens kompensiert werden. Legt man das Verteilervolumen verjüngend zulaufend vom Einlass aus, so erreicht man eine Beschleunigung der Luft zum weitesten entfernten Brennraum hin, jedoch auch eine Druckminimierung. Dieser geringere Druckunterschied wirkt sich wiederum negativ auf die Motorleistung aus. Bei einem mittigen Einlass ist die Versorgung der einzelnen Zylinder gleichmäßiger und führt zu weniger konstruktiven Anpassungen, jedoch meist schlecht umsetzbar, da meist der Bauraum fehlt.

Daher richtet sich die verwendete Form grundsätzlich nach dem vorhandenen Bauraum und dem Aufbau des gesamten Verteilervolumens unter Bezugnahme der Eigenschaften des Ansaugtraktes.

Desweiteren kommt es im Verteilervolumen zu sogenannten Unterdruckwellen, welche durch die senkrecht gerichteten Kolbenbewegungen in den Ansaugtrakt

indiziert werden. Diese beeinflussen die gleichmäßige Befüllung der Brennräume und müssen daher außerdem konstruktiv berücksichtigt werden.

Die Einspritzung erfolgt in das Verteilervolumen mittels Common-Rail-Verfahren. Durch die frühe Einspritzung in den Luftverlauf, kommt es zu einer besseren Kraftstoff-Luft-Gemischbildung und einer Abkühlung des Gemisches. Dies hat zur Folge, dass das Gemisch eine höhere Dichte aufweist und mehr in die Brennräume gefördert werden kann. Mehr Gemisch im Brennraum führt zu mehr Leistung des Motors.

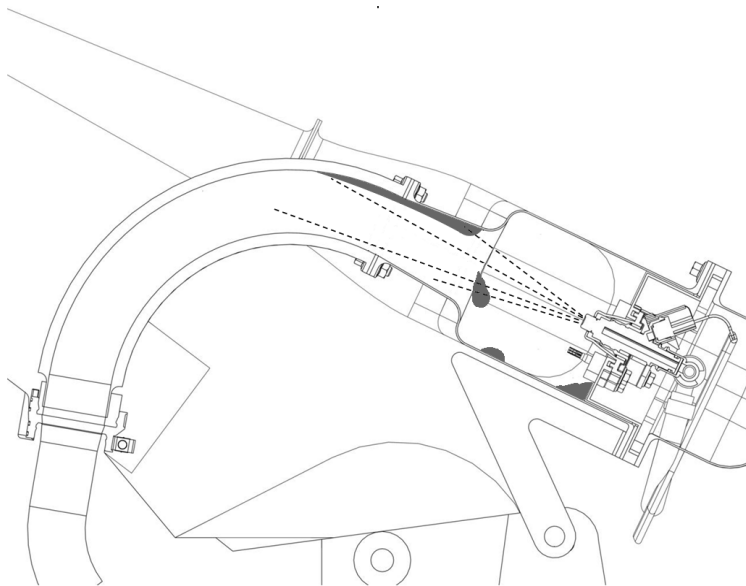


Abbildung 5: Einspritzung in das Verteilervolumen im Vorjahr

Auch im Vorjahr wurde dieses Prinzip genutzt, wie man in der Abbildung 5 erkennen kann. Es ist jedoch dabei nicht auf die Lage des Ansaugtraktes und die Richtung der Einspritzung geachtet wurden. Da die Einspritzung gegen die Schwerkraft gerichtet war und das Verteilervolumen eine schräge Lage hatte, kam es zu einer Ansammlung von zurückfließenden und kondensierten Gemisch und zur Zündung im Ansaugtrakt. Dies hatte wiederum zur Folge, dass das Verteilervolumen schnell mit Kraftstoff voll gelaufen war und die Leistung des Motors negativ beeinflusst wurde.

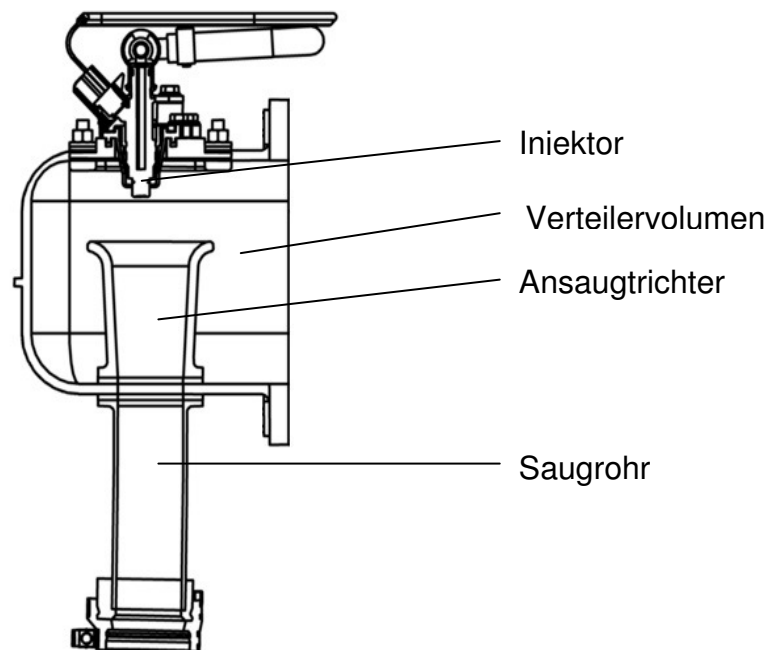


Abbildung 6: Einspritzung in das neue Verteilervolumen

Um dies zu vermeiden befinden sich bei dem neuen Ansaugtrakt wie in der Abbildung 6 dargestellt vier Ansaugstutzen im Verteilervolumen, welche die Verlängerung der Saugrohre darstellt und die Weiterleitung des Kraftstoff-Luft-Gemisches erleichtern. Desweiteren findet die Einspritzung senkrecht über den Einlassventilen statt, um eine bessere Einspritzung in die Brennräume zu garantieren und dass das kondensierte Gemisch in die Brennräume laufen kann und nicht zurück in das Verteilervolumen. Dies hat eine bessere Leistung des Motors zur Folge und verhindert Zündungen im Ansaugtrakt.

Die Ansaugstutzen sind so konzipiert, dass sie einzeln ausgetauscht werden können, um die Länge der einzelnen Saugrohre variabel zu gestalten, die durch die Form des Verteilervolumen gegebenen Ungleichheit bei der Luftzuführung zu kompensieren und den Einfluss der Schwingenden Luft im Verteilervolumen zu minimieren. Die beste Kombination ist leider theoretisch nicht ermittelbar und kann daher nur in der Praxis getestet werden.

Die letzte maßgebende Komponente vor dem Motorblock ist das Saugrohr. Ihm kommt großes Interesse zu, da es, durch die konstruktive Auslegung, die Leis-

tung in den einzelnen Drehzahlbereichen des Motors erheblich beeinflussen kann. Es kommt bei der Auslegung auf den Querschnittsverlauf und die Länge an.

Allgemein ist zu sagen, dass ein großer Durchmesser zu einem hohen Luftaufwand in hohen Drehzahlen führt, was sich auf eine hohe maximal Leistung des Motors auswirkt. Ein kleiner Durchmesser führt zu hohem Luftaufwand im niedrigen Drehzahlbereich, was zu einer guten Leistung in niedrigen Drehzahlen führt, jedoch zu einer geringeren Maximalleistung. Daher ist hier ein Kompromiss zu finden, zwischen hoher Maximalleistung und hoher Leistung im niedrigen Drehzahlbereich

Ein verjüngender Querschnittsverlauf führt zu einer Geschwindigkeitszunahme zum Brennraum hin, jedoch zu einer Druckminimierung. Dies führt zu einer schnellen Befüllung der Brennräume, geht jedoch mit einer Leistungseinbuße einher. Ein gleichbleibender Querschnittsverlauf führt zu gleichbleibender Geschwindigkeit und Druck. Hier kommt es zu einer langsameren Befüllung des Brennraumes, aber zu mehr Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum durch einen höheren Druck. Eine Kombination aus Beiden stellt das beste Maß da, da man eine schnelle Befüllung mit einer relativ guten Leistung des Motors verbindet. In der Abbildung 7 wird dies einmal anschaulich gegenüber gestellt.

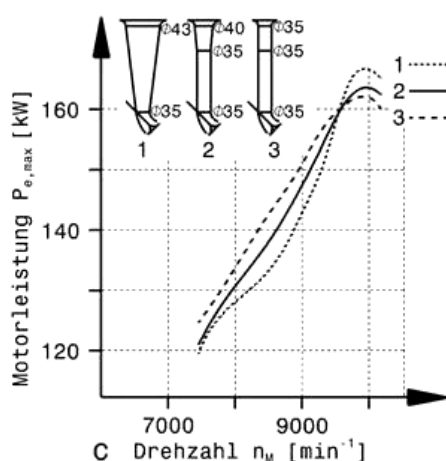


Abbildung 7: Versuchsergebnisse an einem Rennmotor [6]

Höchste, aber spitzeste Leistung mit Ausführung (1). Zylindrisches Saugrohr (3) ergibt günstigen, linearen Leistungsverlauf. Der Leistungsverlauf von Ausführung (2) liegt zwischen (1) und (3) und stellt einen brauchbaren Kompromiss dar.

Bei der Auslegung der Länge des Saugrohres ist darauf zu achten, dass mit der Zunahme der Länge die Maximalleistung des Motors abnimmt. Das heißt, dass ein kurzes Saugrohr zu einer hohen Maximalleistung des Motors führt und ein gutes Ansprechverhalten des Motors ermöglicht. Es ist jedoch dabei darauf zu achten, dass es bei kurzen Saugrohren zu einem Leistungstief im niedrigen Drehzahlbereich kommen kann. Bei langen Saugrohren erreicht man gute Leistung in niedrigen Drehzahlen, was aber zu einer niedrigeren Maximalleistung führt. In der Abbildung 8 ist dies anschaulich gegenübergestellt.

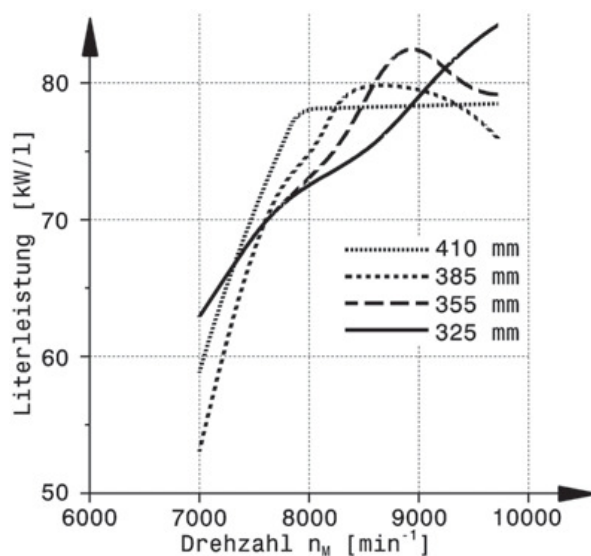


Abbildung 8: Maximalleistung als Funktion der Saugrohre [6]

Die Maximalleistung ist auf den Hubraum bezogen.

Bei der Auslegung der Saugrohre spielt meist auch ein Aufladungseffekt eine Rolle. Die Schwingrohraufladung basiert auf der Ausnutzung von Überdruckwellen.

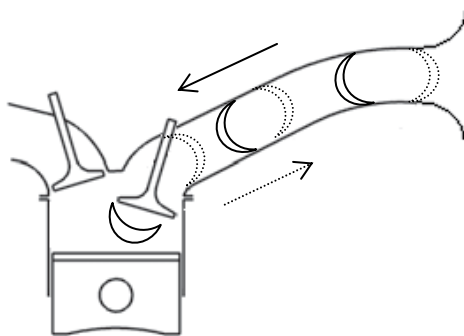


Abbildung 9: Fortpflanzung der Unter- und Überdruckwelle

— Überdruckwelle
 Unterdruckwelle

Wie in der Abbildung 9 dargestellt, läuft eine, durch die negativ gerichtet Bewegung des Kolbens, indizierte Unterdruckwelle durch die Saugrohre in Richtung Verteilervolumen. Am Ende des Saugrohres, beziehungsweise des Ansaugstutzens, wird diese reflektiert und läuft als Überdruckwelle in Richtung Einlassventil. Wenn diese Überdruckwelle, welche sich mit Schallgeschwindigkeit bewegt, kurz vor dem Schließen des Einlassventils dieses erreicht, erzeugt diese Welle einen Überdruck im Brennraum, was zur Steigerung der Leistung führt. Leider ist dieser Aufladungseffekt nur für einen sehr kleinen Drehzahlbereich nutzbar. Desweiteren verschlechtert dies die Ansprechzeit und die Maximalleistung des Motors, da für die Aufladung lange Saugrohre gebraucht werden. Im Vorjahr hat man diesen Effekt nutzen wollen und ist zu einem sehr schlechten Ergebnis gekommen, was die Nutzbarkeit und die Maximalleistung des Motors betrifft.

4. Konstruktive Umsetzung

Durch die nun gegebenen Grundlagen des Ansaugtraktes konnte das Konzept erstellt werden. Die Anordnung und Positionierung sowie die Auswahl des geeigneten Materials waren hierbei von wichtiger Bedeutung.

4.1 Konzept

Bei dem Bau des Ansaugtraktes kam es vor allem auf den vom Reglement und dem vom Fahrzeug gegebenen Bauraum an. Hierbei war zu beachten, dass wir, wie die Abbildung 10 zeigt, nicht aus dem Überrollbereich kommen, da wir sonst nicht bei Formula Student Wettbewerben teilnehmen dürfen.

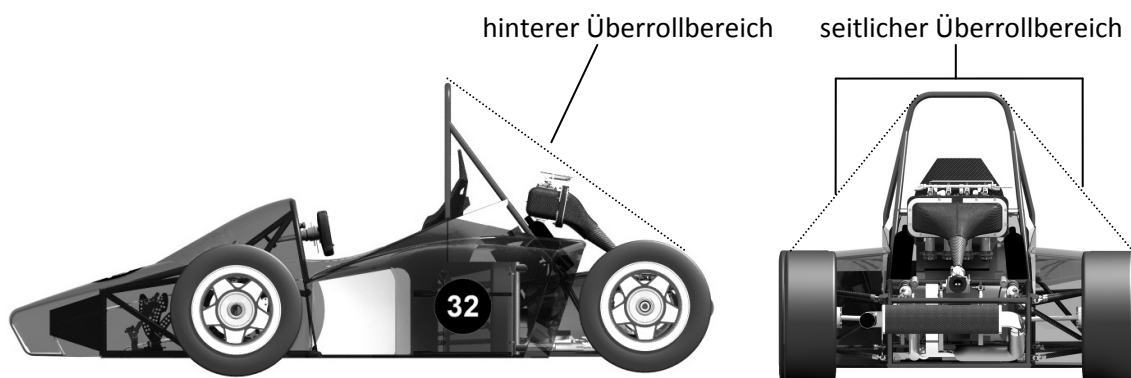


Abbildung 10: Überrollbereich von der Seite und von hinten gesehen

Dies erwies sich als ziemlich kompliziert bei der Konstruktion des Ansaugtraktes, da wir schon einen gewissen Raum für die Auslegung des Ansaugtraktes benötigen. Der Grundlegende Fakt war die Vorgabe des CBR600 PC35 Motors. Die ungedrosselte Leistung des Motors liegt bei 120 PS. Es ist möglich die Leistung des Motors bei dem Einsatz eines Durchflussbegrenzers theoretisch zu Berechnen. Dazu muss angenommen werden, dass der Umgebungsdruck und die Dichte der Umgebungsluft konstant sind, damit der Luftmassenstrom in der engsten Stelle ermittelt werden kann. Dies basiert darauf, dass der höchste

Luftdurchsatz erreicht wird, wenn an der engsten Stelle die Luft Schallgeschwindigkeit erreicht.

$$\dot{m}_{th,max} = 240 \cdot A_{RS}$$

$$A_{RS} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{RS}^2$$

$$A_{RS} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 m^2 = \underline{3,1416 \cdot 10^{-4} m^2}$$

$$\dot{m}_{th,max} = 240 \cdot 3,1416 \cdot 10^{-4} = \underline{0,0753984 \frac{kg}{s}}$$

$$\dot{m}_{th,max} \dots \text{maximal theoretischer Luftmassenstrom} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

$$A_{RS} \dots \text{Restriktorquerschnittsfläche} [m^2] [6]$$

Mit Hilfe des errechneten Luftmassenstromes ist es möglich die theoretisch maximale Motorleistung zu bestimmen.

$$P_{e,th,max} = \eta_e \cdot \dot{m}_{th,max} \cdot \frac{H_u}{\lambda \cdot L_{min}}$$

$$P_{e,th,max} = 0,3 \cdot 0,0753984 \frac{kg}{s} \cdot \frac{43170 \frac{kJ}{kg}}{0,9 \cdot 14,7}$$

$$\underline{\underline{P_{e,th,max} = 73,808366 kW = 100,38 PS}}$$

$$P_{e,th,max} \dots \text{theoretisch maximale Motorleistung} [kW]$$

$$H_u \dots \text{spezifischer Heizwert des Kraftstoffes} \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\lambda \dots \text{Luftverhältnis} [-]$$

$$L_{min} \dots \text{Luftbedarf für stöchiometrische Verbrennung} [-]$$

$$\eta_e \dots \text{effektiver Wirkungsgrad, ist das Verhältnis der geleisteten Arbeit zur eingesetzten Brennstoffenergie} [-] [6]$$

Die Motorleistung im Vorjahr lag bei ca. 60 PS was darauf zu führen war, dass durch den Einsatz von einer langen Lavaldüse und langen Saugrohren zwar die Leistung in niedrigen Drehzahlen hoch war, jedoch in hohen Drehzahlen sehr gering. Somit kam es zu einem Leistungsabfall schon bei 8000min^{-1} obwohl er theoretisch bis ca. 11355min^{-1} hätte drehen können, wie die Rechnung zeigt.

$$P_{e,th,max} = \frac{i}{600} \cdot z \cdot n_{M,krit} \cdot p_{m,e} \cdot V_h$$

$$n_{M,krit} = \frac{P_{e,th,max} \cdot 600}{i \cdot z \cdot p_{m,e} \cdot V_h}$$

$$n_{M,krit} = \frac{73,808366\text{kW} \cdot 600}{0,5 \cdot 4 \cdot 13\text{bar} \cdot 0,15\text{l}}$$

$$\underline{\underline{n_{M,krit} = 11355,133 \frac{1}{\text{min}}}}$$

$$n_{M,krit} \dots \text{kritische Drehzahl} \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

V_h ... Hubvolumen eines Zylinders [l]

$p_{m,e}$... effektiver Mitteldruck [bar], Serienottomotoren zwischen 8 und 13 bar

$P_{e,th,max}$... theoretisch maximale Motorleistung [kW]

i ... Taktzahl [–], $i = 0,5$ für 4-Takter

z ... z Anzahl der Zylinder [–] [6]

Diese Werte können jedoch nicht erreicht werden, da es zu Verlusten durch Wandreibung, Schwingungen und Temperaturveränderungen im Ansaugtrakt kommt, wodurch die gleichmäßige Versorgung der Brennkammern nicht mehr gewährleistet werden kann.

Des Weiteren kommen Ansaugtrichter zum Einsatz, welche den Zweck haben, die Saugrohre zu verlängern und die gleichmäßige Versorgung der einzelnen Brennkammern zu gewährleisten.

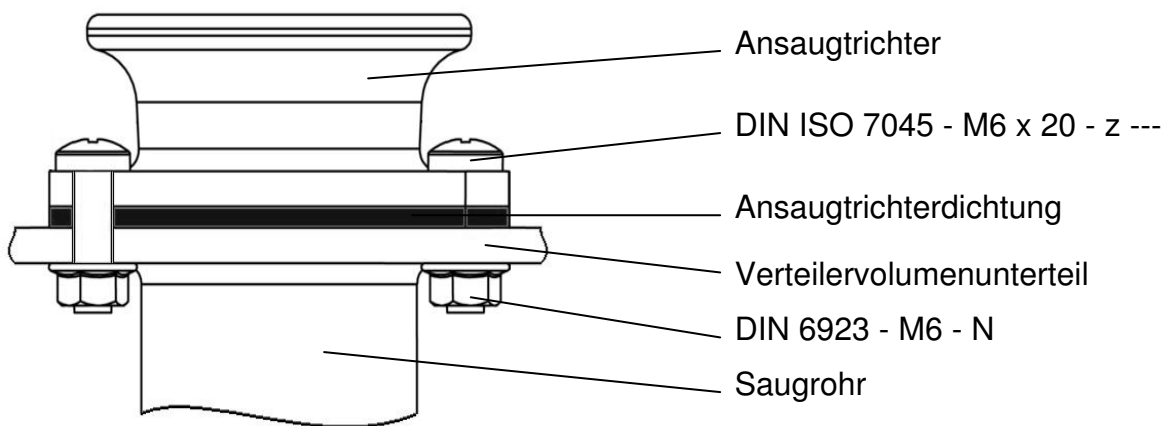


Abbildung 12: Ansaugtrichter im Ansaugtrakt

Ein weiterer wichtiger Fakt war das Gewicht des Ansaugtraktes. Da das Fahrzeug insgesamt leichter werden sollte als zum Fahrzeuges des Vorjahres musste besonders in Punkto Gewicht auf die Wahl der Material geachtet werden. Hierbei bot sich an wieder Kohlenstofffasermaterial zum laminieren der großen Formen zu verwenden, da dieses sehr leicht und man fast jegliche Form erstellen kann. Außerdem kann das Material hohe Zugkräfte aufnehmen und sieht nach der dementsprechenden Nachbehandlung sehr gut aus. Die weiteren Teile sollten natürlich auch nicht ins Gewicht fallen und sind daher aus Aluminium zu fertigen.

4.2 Die 4 entwickelten Varianten



Abbildung 13: Ansaugtrakt Variante 1

Die erste Variante basiert auf dem Ansaugtrakt aus der Saison 2008/2009, wonach nur einige Faktoren geändert wurden. So sind die Lavaldüse und die Saugrohre kürzer ausgelegt. Des Weiteren ist das Verteilervolumen aufgerichtet wurden, um die Einspritzung in die Saugrohre zu verbessern und die Verpuffungen im Verteilervolumen zu minimieren. Außerdem ist das Verteilervolumen verjüngend gestaltet um die gleichmäßige Versorgung der Brennräume zu gewährleisten.

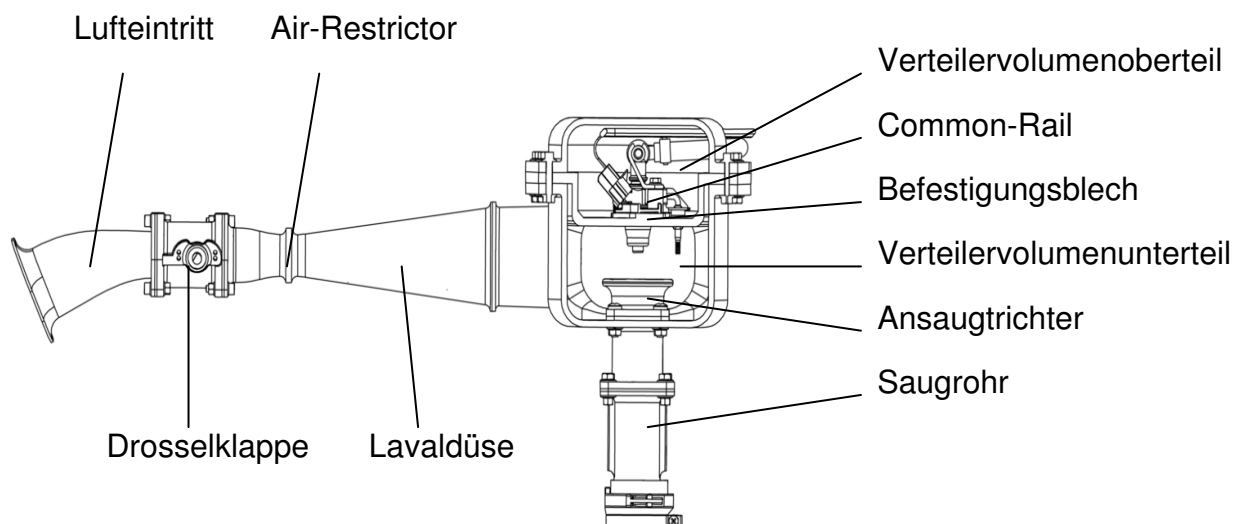


Abbildung 14: Aufbau Ansaugtrakt Variante 1

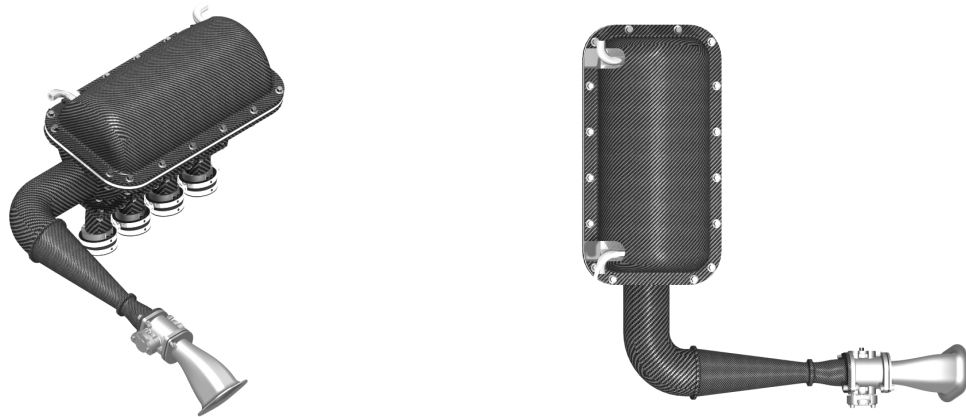


Abbildung 15: Ansaugtrakt Variante 2

Bei der zweiten Variante ist vor allem auf die Formstabilität geachtet wurden. Durch die runde Form sind keine großen ebenen Flächen vorhanden, die bei hoher Belastung ihre Formstabilität verlieren können. Dadurch wird das Spiel des Verteilervolumens, welches in der Saison 2008/2009 vorhanden war minimiert und eine bessere Versorgung der Brennräume realisiert. Jedoch tritt hier das Problem der Über- und Unterversorgung der Brennkammern mit Luft durch die gleichmäßig verlaufende Form des Verteilervolumens bei seitlicher Zuführung der Luft auf.

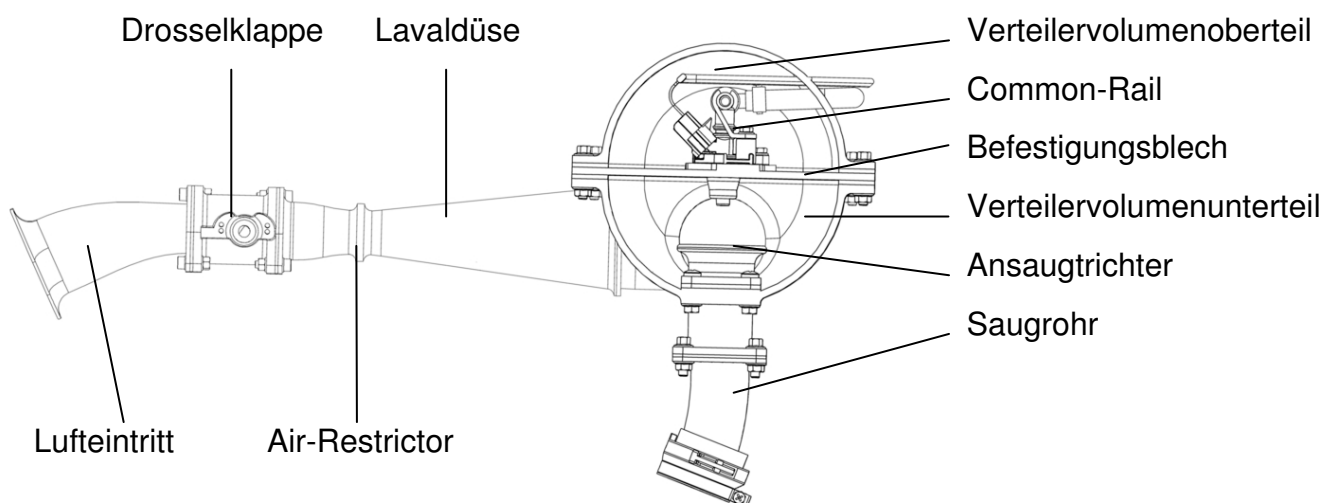


Abbildung 16: Aufbau Ansaugtrakt Variante 2

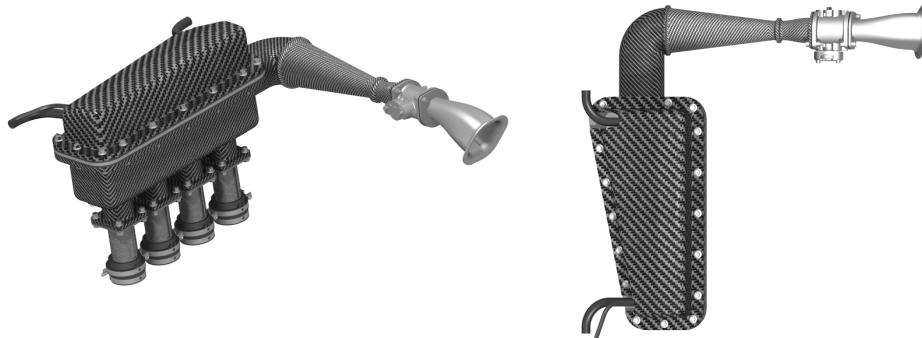


Abbildung 17: Ansaugtrakt Variante 3

In der Variante 3 wurde die gleichmäßige Versorgung der Brennräume mittels verjüngend zulaufenden Verteilervolumen und leichter Anpassung der Luftwege zum ersten und letzten Saugrohr realisiert.

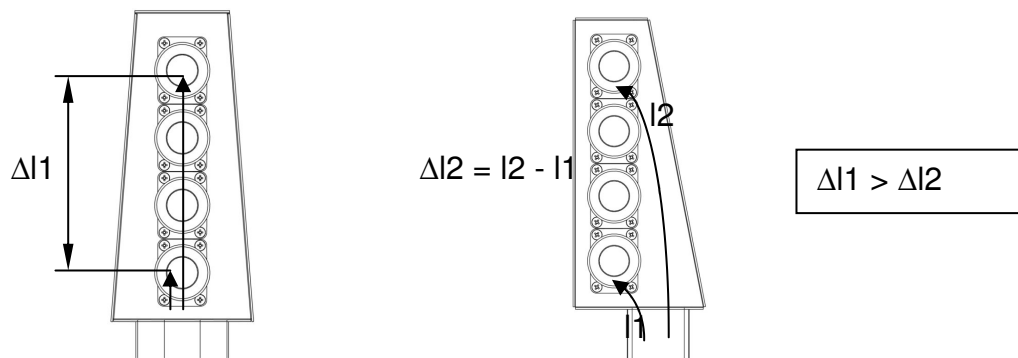


Abbildung 18: Darstellung der Vereinfachung der Luftwege

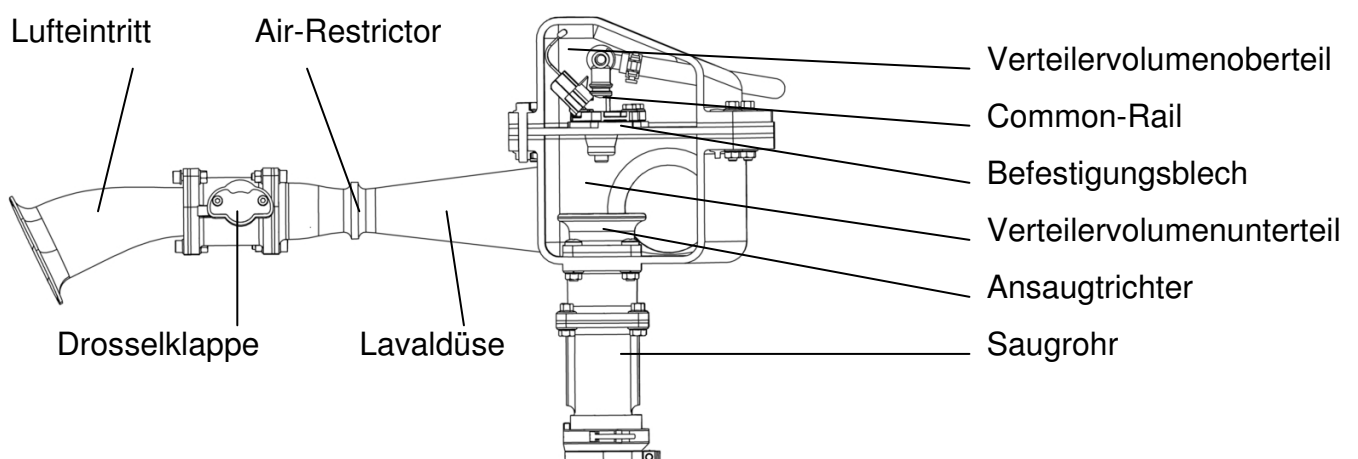
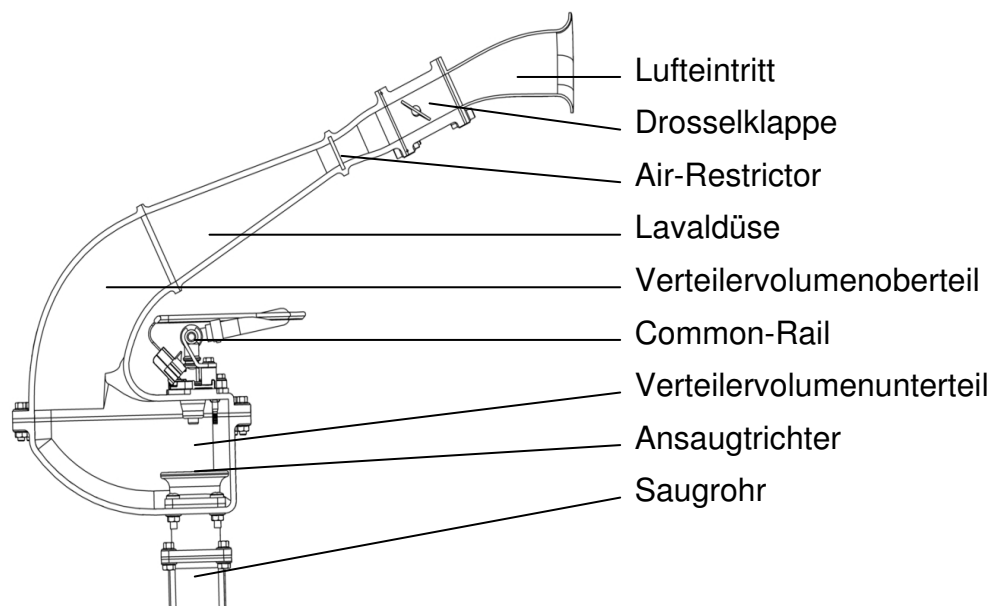


Abbildung 19: Aufbau Ansaugtrakt Variante 3

**Abbildung 20: Ansaugtrakt Variante 4**

Die Ansaugung mittig in das Verteilervolumen für die gleichmäßige Versorgung der Brennräume war ein Hauptfakt für die Entwicklung der vierten Variante. Durch die abgerundete Form des Verteilervolumens sollte die Formstabilität gewährleistet werden, basierend auf der zweiten Variante. Außerdem sollte auch wie bei den anderen Varianten die Einspritzung in das Verteilervolumen realisiert werden, um auch hier die Abkühlung des Kraftstoff-Luft-Gemisches zu gewährleisten. Durch die Bohnensackform konnte die schon bei den Varianten 1, 2 und 3 genutzten Komponenten wieder genutzt werden. Das größte Problem, welches sich bei der Konstruktion der Variante zeigte, war im vorgegebenen Bauraum zu bleiben und die Ansaugung zwischen dem Fahrerhelm und dem Überrollbügel umzusetzen.

**Abbildung 21: Aufbau Ansaugtrakt Variante 4**

4.3 Die resultierende Variante

Die genutzte Variante baute sich aus den 4 einzelnen Varianten zusammen und berücksichtigt dabei alle Faktoren, auf die bei den einzelnen Varianten spezifisch eingegangen wurde. Die Abbildung 22 zeigt die resultierende Variante im Fahrzeug.

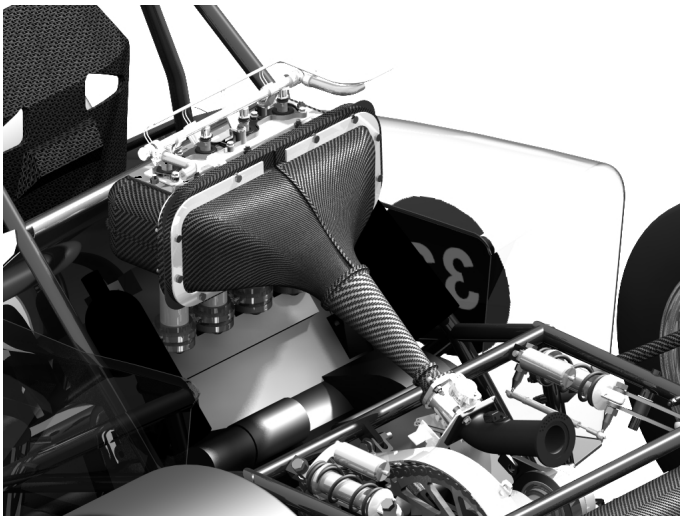


Abbildung 22: resultierende Variante des Ansaugtraktes

Wie man in der Darstellung schön erkennen kann ist vor allem Wert auf die mittige Ansaugung gelegt wurde, da es die beste gleichmäßige Versorgung der Brennkammern realisiert. Auch die Einspritzung in das Verteilervolumen, sowie der senkrechte Sitz der Einspritzdüsen über den Einlassventilen wurde realisiert. Bei der Formgebung des Verteilervolumens wurde besonders darauf geachtet, dass keine großen Ebenen Flächen vorhanden sind, die nicht wenigstens abgestützt werden. Somit besitzt das Verteilervolumen eine schöne abgerundete Form und ist daher sehr Formstabil konstruiert. Da es unmöglich war, bei dem vorgegebenen Bauraum eine mittige Ansaugung zu realisieren, bei der die Luft zwischen Fahrerhelm und Überrollbügel angesaugt wird, wurde die Ansaugung nach hinten verlegt. Der einzige negative Fakt bei dieser Auslegung ist, dass wir eine eventuelle Ansaugung von wärmerer Luft haben, wodurch sich unsere maximale Motorleistung leicht verringert. Die Nutzung von angestauter

Luft zum Beispiel zwischen Fahrerhelm und Überrollbügel macht bei diesen Geschwindigkeiten keine Leistungssteigerung aus und die Sauberkeit der angesaugten Luft ist bei der Fahrt auch gegeben. Im nachfolgenden wird auf die verwendeten Komponenten näher eingegangen.

4.3.1 Ansaugstutzen mit Luftfilter und Temperatursensor

Der Ansaugstutzen wurde so konzipiert, dass er den Lufttemperatursensor, das Rücklicht und den Luftfilter aufnehmen kann. Da dies als Frästeil sehr schwer umzusetzen ist, wird dieses Teil aus ABS-Kunststoff im Rapid Prototyping Verfahren gefertigt. Dieses Verfahren ermöglicht, dass dieses Teil ohne jegliche Einschränkungen zu fertigen ist und sofort nach dem Entfernen des Stützmaterials ohne weitere Bearbeitung genutzt werden kann.

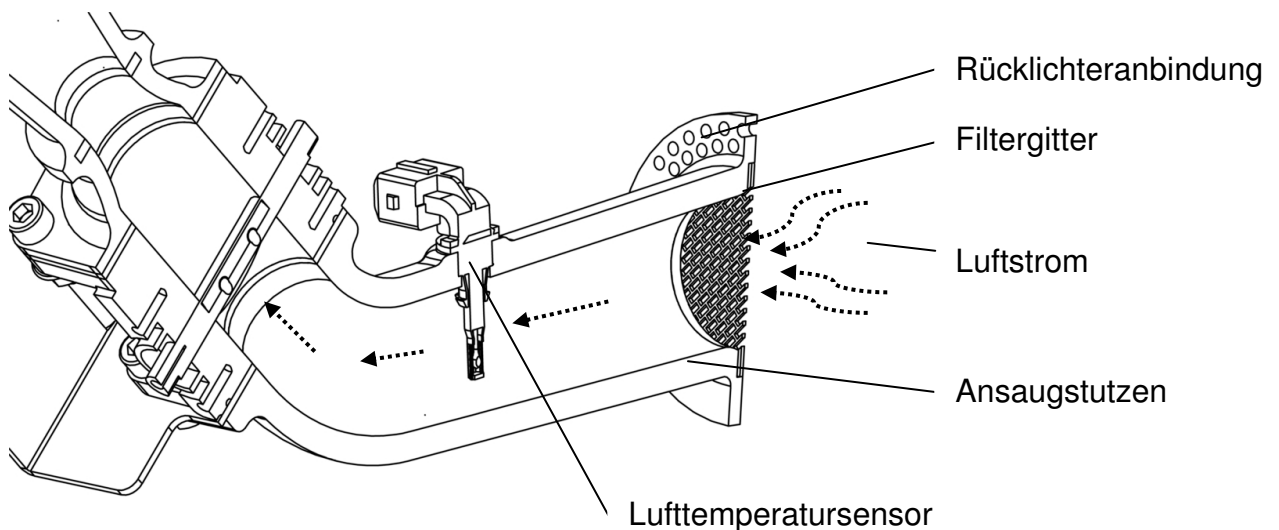


Abbildung 23: Aufbau Ansaugstutzen

Diese Komponente ist das erste Teil des Ansaugtraktes, welches die Aufgabe hat die Luft anzusaugen und zu reinigen. Des Weiteren soll hier die Temperatur der angesaugten Luft mittels Lufttemperatursensor entnommen werden, für die Steuerung der Einspritzung. Bei der Auslegung wurde besonders darauf geachtet, dass der Lufttemperatursensor und das Filtergitter einfach eingeklebt werden kann und die einzelnen Übergänge keine Sprungstellen aufweisen, welche zu Verwirbelungen führen können.

4.3.2 Drosselklappe mit Bowdenzuganbindung und Potentiometer

In dieser Saison wird die gleiche Drosselklappe wie die in der vorigen Saison genutzt, da diese sich vom Aufbau und der daraus resultierenden Einbaubarkeit gut nutzen lässt. Auch das gleiche Potentiometer wird genutzt, da es sich im Vorjahr als sehr präzise und schnell herausgestellt hatte und dieses auf die Drosselklappe abgestimmt ist.

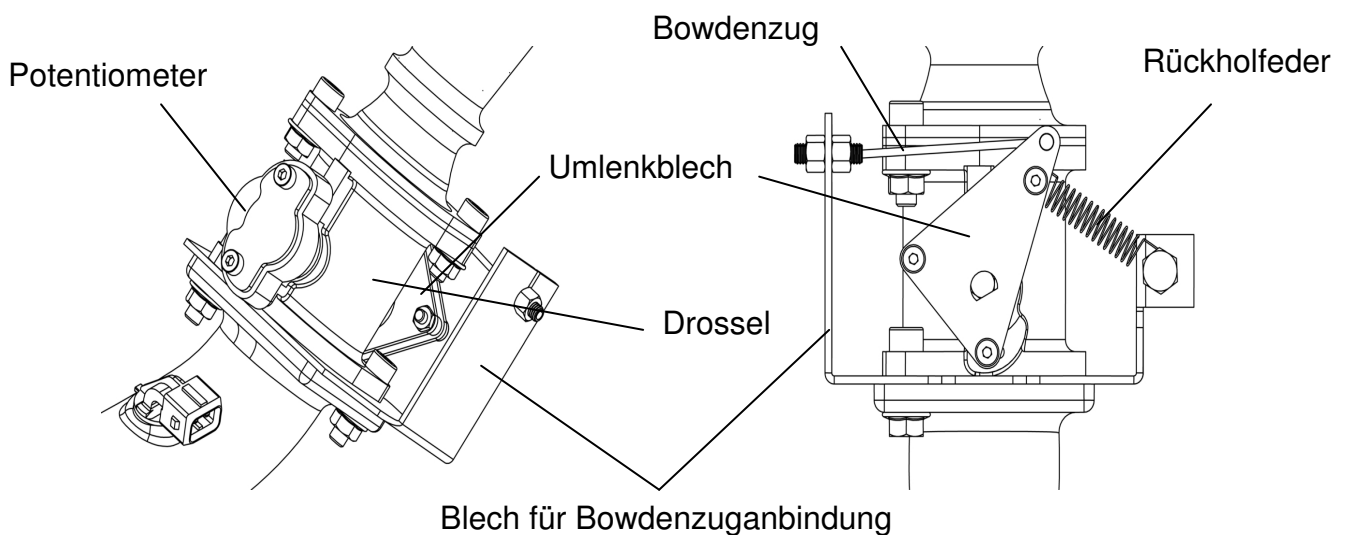


Abbildung 24: Drosselklappe, Bowdenzuganbindung und Potentiometer

Die Anbindung des Bowdenzuges besteht aus einem gebogenen Blech, welches für die Fixierung des Bowdenzuges und der Spannung der Rückholfeder zuständig ist und zwei Blechen, die an der Welle der Drossel fixiert werden, in die der Bowdenzug ein gehangen wird. Bei der Anbindung des Bowdenzuges musste vor allem darauf geachtet werden, dass das gebogene Blech bei der Betätigung des Bowdenzuges Formstabil bleibt. Daher musste noch ein Formblech aufgeschweißt werden, da sich das gebogene Blech ansonsten verformt. Bei der Auslegung des gebogenen Bleches kam es vor allem auf Längenänderung bei der Veränderung des Drosselwinkels an. Ich habe mit dem Bereich Fußhebelwerk eine Bowdenzuglängenänderung von 20° Drosselwellenwinkel bis 90° Drosselwellenwinkel von 50 mm festgelegt, welche in die Konstruktion der Bowdenzuganbindung einfließt. Die Teile werden alle mittels Laserschneiden zugeschnitten und im Nachhinein gebogen. Anschließend wird das kleine Dreieck als Versteifung eingeschweißt und alles zusammengebaut.

4.3.3 Lavaldüse mit Luftmengenbegrenzungsring

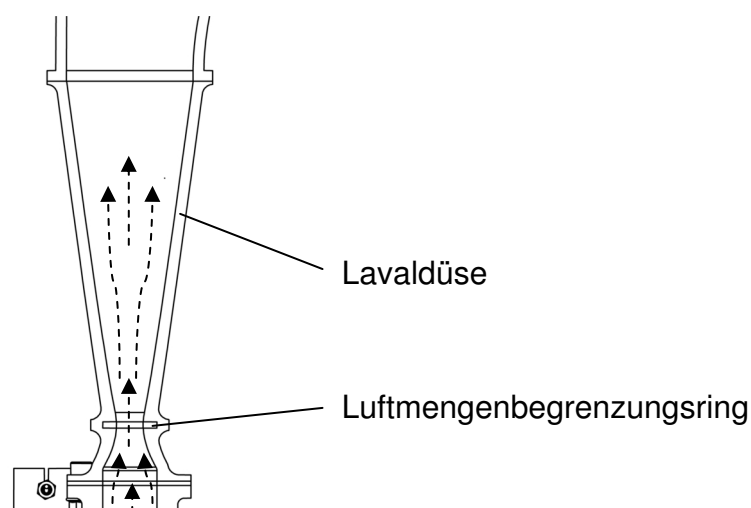


Abbildung 25: Aufbau der Lavaldüse

Bei dem Aufbau des Ansaugtraktes ist die Reinluftleitung, welche zwischen Drosselklappe und Verteilervolumen verläuft, als Lavaldüse ausgelegt. Diese hat die Aufgabe, die von der Drosselklappe verwirbelte Luft zu beruhigen und den vom Reglement vorgeschriebenen Luftmengenbegrenzzerring aufzunehmen. Durch die Komprimierung und das anschließend allmähliche Extrahieren der Luft, wird der Luftstrom beruhigt. Es bietet sich an den Luftmengenbegrenzzerring in der Lavaldüse vorzusehen, da eine Lavaldüse eine Engstelle aufweisen muss, um die Luft zu komprimieren. Des Weiteren ist es wichtig, dass der Auslass der Lavaldüse mindestens doppelt so groß ist, wie der Einlass und dass der Öffnungswinkel zwischen 6° und 9° liegt um die Beruhigung zu erzielen. Bei einem zu großen Öffnungswinkel würde sich die Strömung von den Wänden lösen und Verwirbelungen bilden. Die Länge der Lavaldüse spielt in Bezug auf die Motorleistung eine wesentliche Rolle, da eine kurze Lavaldüse zu einer hohen Maximalleistung und eine lange zu niedrigen Maximalleistungen führt, dafür aber zu einer guten Leistung in niedrigen Drehzahlen. Da wir dieses Jahr eine gute Maximalleistung mit einem guten Ansprechverhalten erzielen wollten, ohne ein Leistungstief in niedrigen Drehzahlen zu erreichen, habe ich die Lavaldüse um einiges gegenüber dem Vorjahr gekürzt.



Abbildung 26: Fertigungsaufbau für das Laminieren der Lavaldüse

Die Lavaldüse ist als Laminat ausgelegt, welches aus einem Stück laminiert wird. In der Abbildung 26 ist einmal der Fertigungsaufbau für die Lavaldüse dargestellt. Hierbei handelt es sich um 2 Aluminiumkerne, welche miteinander verschraubt werden, um die positive Laminierform der Lavaldüse zu bilden. An

den äußeren Rändern sind Bleche für Flansche vorgesehen. Diese dienen später zur Verklebung und Verschraubung an die jeweiligen Komponenten. Der Luftmengenbegrenzerring ist aus Aluminium mit einer geringen Spielpassung der Bohrung gefertigt und wird auf den kleineren Aluminiumkern geschoben. Wenn das Laminat ausgehärtet ist, kann man die Bleche und Kerne entfernen. Dabei verbleibt der Luftmengenbegrenzerring im Laminat. Bei der Entformung kann das Gewicht des Aluminiumkernes genutzt werden. Durch dieses lässt sich der Kern besser entfernen. Es hat sich herausgestellt, dass man durch die Nutzung des Gewichtes des Kernes nicht einmal Druckluft zur Entformung benötigt.

4.3.4 Verteilervolumen mit Einspritzung

Das Verteilervolumen sorgt für die gleichmäßige Versorgung der Saugrohre mit Luft und beeinflusst daher die Leistung des Motors durch die Formgebung. Anhand der Umsetzung der mittigen Ansaugung ist ein trichterförmiges Gebilde entstanden, welches für die Fertigung in vier Teile unterteilt werden musste.

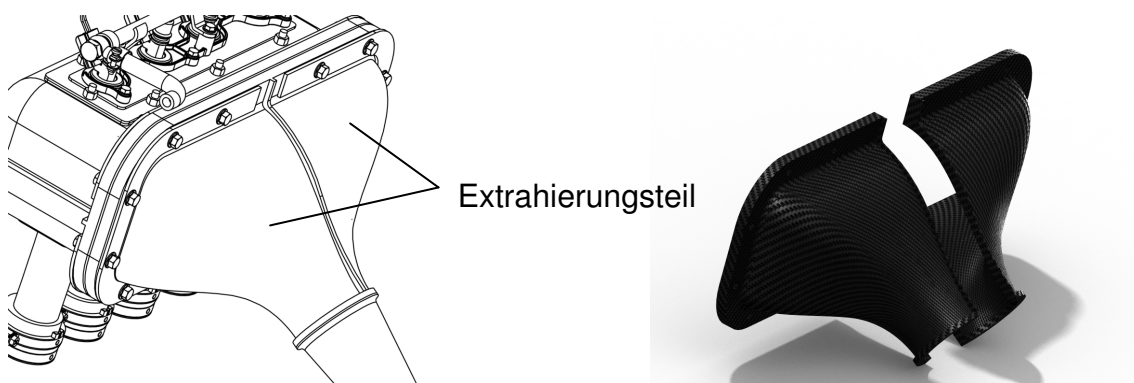


Abbildung 27: Aufbau und Aufteilung des Extrahierungsteiles

Der Extrahierungsteil oder auch Verteilervolumenoberteil besteht aus 2 gespiegelten Teilen, welche nach dem Aushärten zusammengeklebt werden. Dieser Extrahierungsteil ist einseitig mit der Lavaldüse verklebt und anderseitig mit einem Flansch versehen, an dem das Verteilervolumenunterteil verschraubt wird. Wie man in der Abbildung 28 sehen kann ist die positive Laminierform wiederum mit Blechen versehen für die Fertigung von Flanschen.

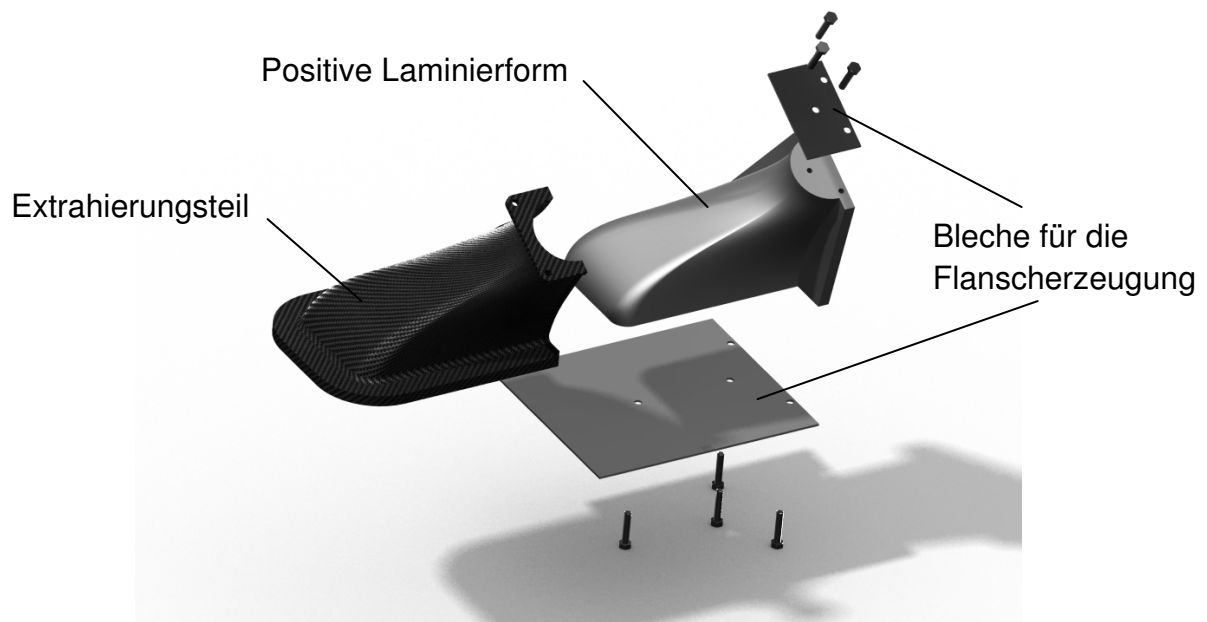


Abbildung 28: Fertigungsaufbau für ein Extrahierungsteil

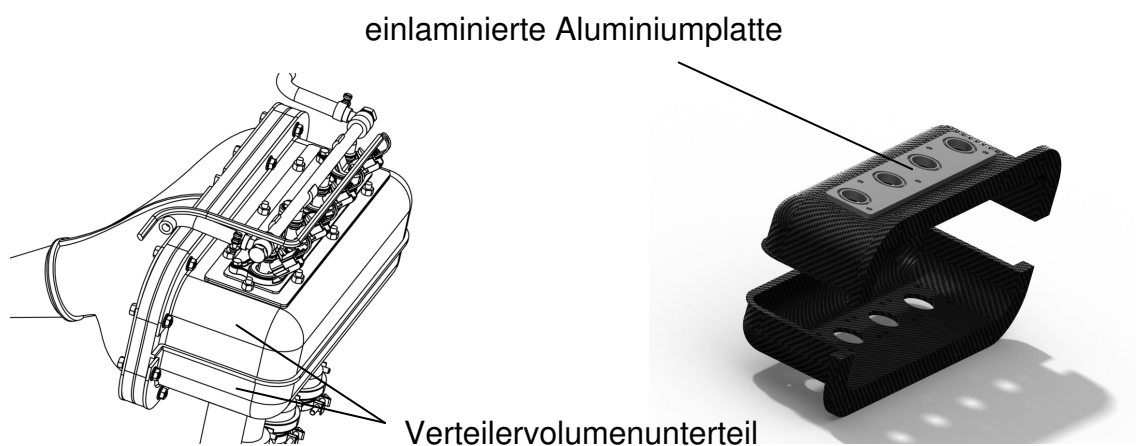


Abbildung 29: Aufbau und Aufteilung des Verteilervolumenunterteils

Das Verteilervolumenunterteil besteht wiederum aus zwei Laminaten welche miteinander nach der Aushärtung verklebt werden. Der untere Teil weist Bohrungen auf, welche für die Anbringung der Saugrohre und Ansaugtrichter vorgesehen ist. Durch die Anbringung dieser Komponenten versteift sich die ebene Fläche und wird formstabiler. Bei dem oberen Teil ist eine Aluminiumplatte, welche vorher für die Aufbringung des Einspritzgehäuses gefräst wurde, einlaminieren. Diese Platte dient erstens für die bessere Abdichtung der Einspritzung und zweitens für die Versteifung der ebenen Fläche. Bei der Einlaminierung dieser Platte wurde vor allem darauf geachtet, dass diese sich sehr gut mit dem Harz verbindet. Daher ist diese Platte, wie in Abbildung 30 gezeigt, auf der einzulaminierenden Fläche mit Bohrungen versehen, in die das Harz einlaufen kann. Dadurch schafft man eine sehr feste Bindung zwischen Laminat und der Aluminiumplatte. Auch hier ist die positive Laminierform wiederum mit Blechen versehen versehen für die Fertigung von Flanschen.

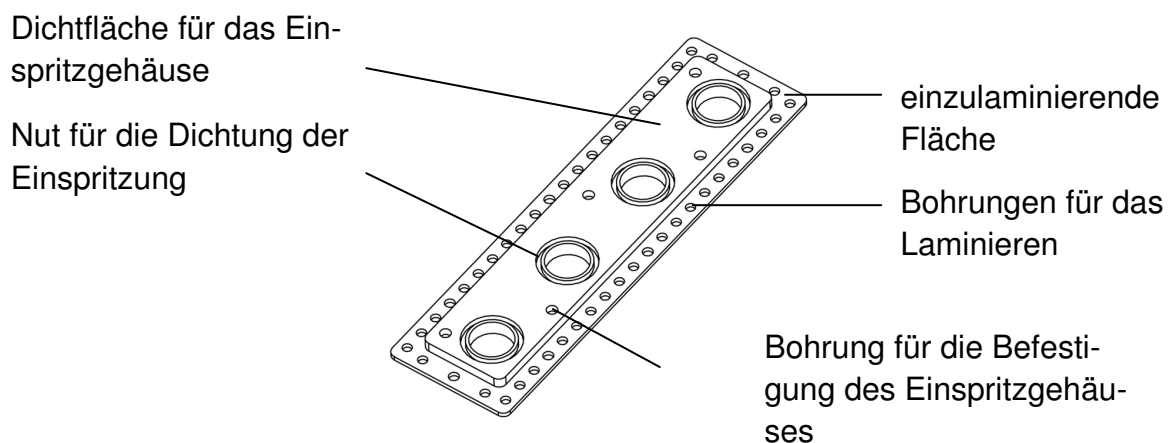


Abbildung 30: einlaminierende Aluminiumplatte

Die positiv Laminierform ist für das Einlaminieren der Aluminiumplatte mit einer Erhöhung versehen, um die die ersten 4 Schichten CFK gelegt werden. Anschließend wird die Aluminiumplatte, geführt von vier Bolzen, auf die Form auf-

gesetzt und auf den einzulaminierenden Flächen mit angedickten Harz gedrängt. Zum Schluss folgen nun wie gewohnt die 4 letzten Schichten, wobei darauf geachtet wurde, dass die Dichtfläche für das Railgehäuse nicht zu sehr mit Harz benetzt wird.

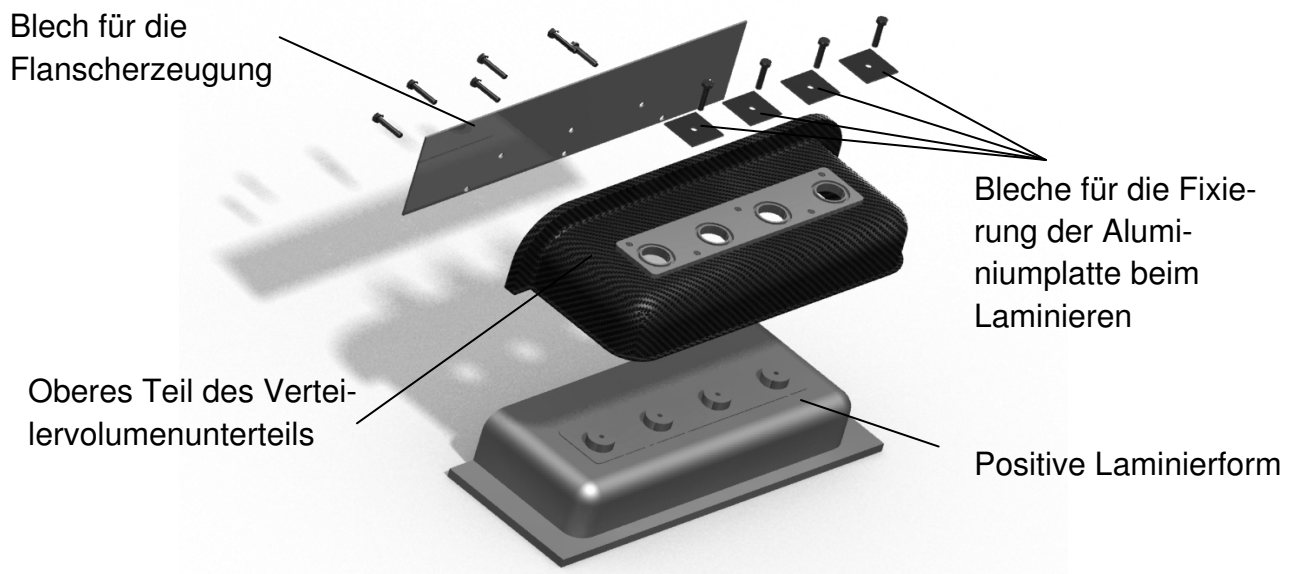


Abbildung 31: Fertigungsaufbau oberes Teil des Verteilervolumenunterteils

Nach dem Aushärten wird die Entformung vorgenommen, wobei sich herausstellte, dass durch die Form und die Höhe der Führungsbolzen für die Aluminiumplatte, die Laminierform zerstört werden musste um das Laminat zu erhalten.

Allgemein ist zu sagen, dass dies die größten Lamine sind und man daher besonders hier auf die Formstabilität achten muss. Bei der konstruktiven Auslegung wurde vor allem auf den Verzicht von ebenen Flächen geachtet oder eine Versteifung dieser Flächen vorgesehen, um das Atmen des Verteilervolumens im Gegensatz zum Vorjahr ausschließen zu können.

Die Einspritzung wird in dem vorliegenden Fall durch eine Saugrohreinspritzung realisiert, wobei bei dieser Art der Einspritzung die Lage der Injektoren ent-

scheidend für das motorische Verhalten ist. Je weiter entfernt die Einspritzdüsen sitzen, je besser ist die Gemischbildung und die Abkühlung dieses. Dadurch erhält man mehr Leistung und die Arbeitstemperatur des Motors wird niedrig gehalten. Die Aufnahme der Einspritzleiste wird durch die Verschraubung des Einspritzgehäuses mit der einlamierten Aluminiumplatte realisiert. Das Einspritzgehäuse und die restlichen Teile der Einspritzung sind Originalteile von Honda. Daher musste nur eine Verbindung zwischen der originalen Honda Einspritzung und dem Ansaugtrakt gestaltet werden. Jedoch müssen an der Kraftstoffleiste Veränderungen vorgenommen werden. Die Originale Kraftstoffleiste besitzt nur eine Kraftstoffanbindung. Um jedoch eine Gleichverteilung des Kraftstoffs auf alle Einspritzventile sicherzustellen und örtliche Druckänderungen während des Einspritzvorgangs zu vermeiden, ist ein Anschluss der Verteilerleiste auf beiden Seiten von Nöten. Dazu wurde an der verschlossenen Stirnseite der Kraftstoffleiste eine Bohrung gesetzt und ein Rohranschluss angeschweißt.

Der unter Druck stehende Kraftstoff wird mit Hilfe der Injektoren eingespritzt und zerstäubt. Diese, wie ein Ventil funktionierenden, Injektoren werden vom Steuergerät des Fahrzeuges gesteuert. Der eingespritzte Kraftstoff vermischt sich im Verteilervolumen mit der angesaugten Luft und wird durch die Unterdruckwellen, welche von den Brennräumen kommen, über die Saugrohre in die Brennräume gesaugt. Bei der Auslegung des Ansaugtraktes wurde bereits auf eine gleichmäßige Versorgung mit Luft geachtet. Auch die Einspritzung muss eine gleichmäßige Versorgung der Brennräume garantieren. Daher wurden vor dem Rennen die Einspritzdüsen getestet. Hierzu ließ man über einen längeren Zeitraum die Düsen einzeln einspritzen und nahm die Einspritzmengen ab. Das Steuergerät ermöglicht die Anpassung der einzelnen Injektoren, was ebenfalls zu einer gleichmäßigen Einspritzung führt.

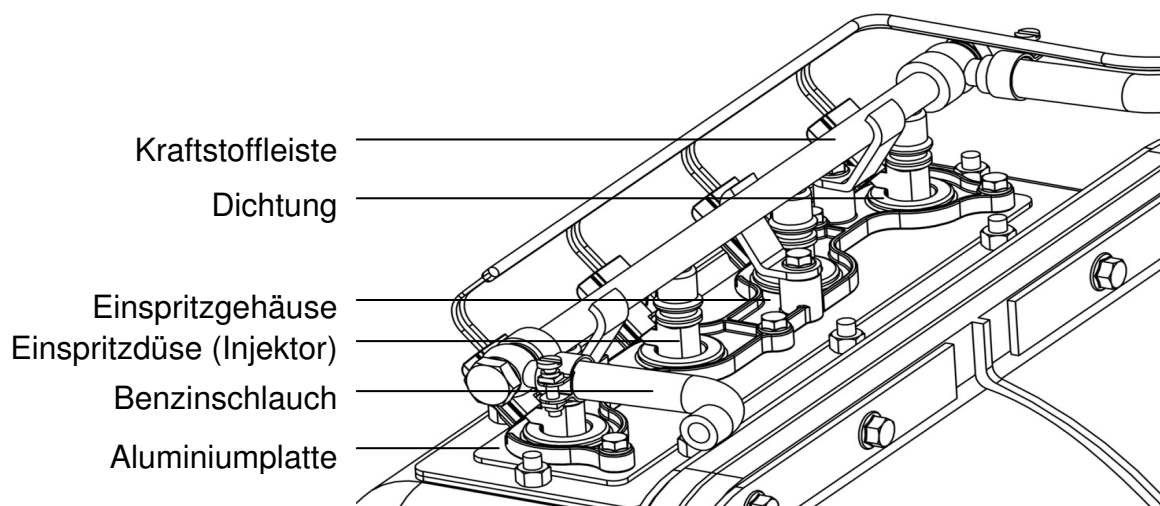


Abbildung 32: Aufbau der Einspritzung

Des Weiteren hat man hier die Möglichkeit die Leistung des Motors zu beeinflussen, indem man durch das Einbringen eines Zwischenstückes zwischen dem Verteilervolumenunterteil und dem Extrahierungsteil das Volumen der Luft vergrößert. Dies hat außerdem zur Folge, dass der Abstand zwischen den Einspritzdüsen und den Ansaugtrichtern größer wird. Dies hat wiederum zur Folge, dass der Weg des Kraftstoff-Luft-Gemisches in den Brennraum länger ist und daher das Gemisch besser abkühlt, was zu einer Leistungssteigerung beiträgt.

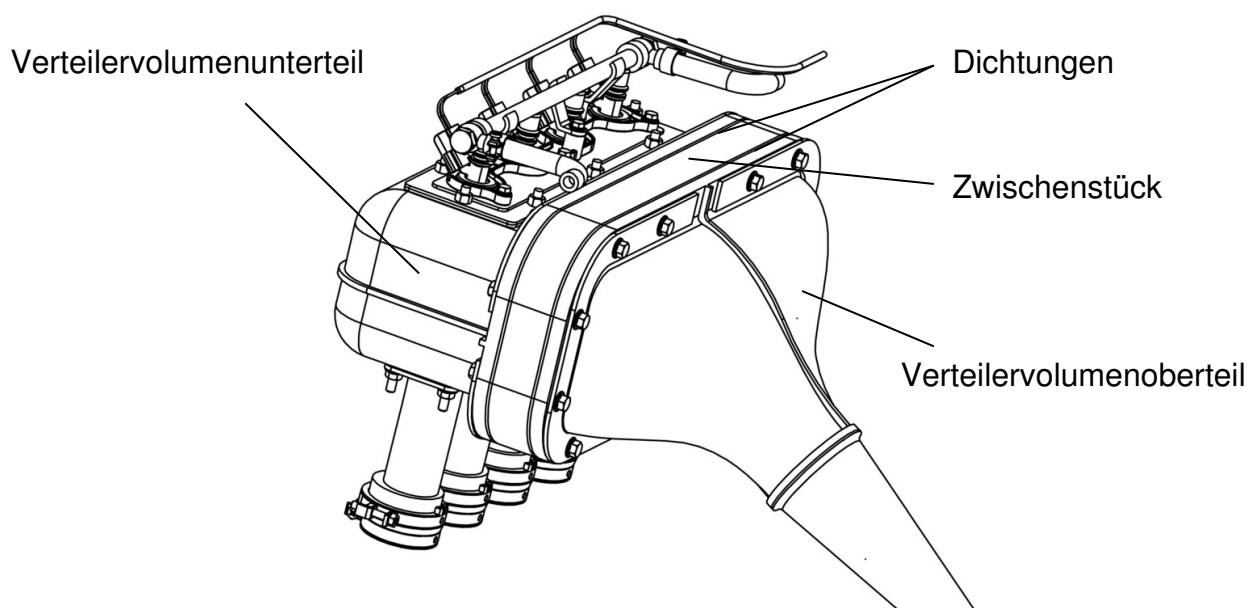


Abbildung 33 Zwischenstücken zur Volumenvergrößerung

4.3.5 Saugrohr mit Ansaugtrichter und Motoranbindung

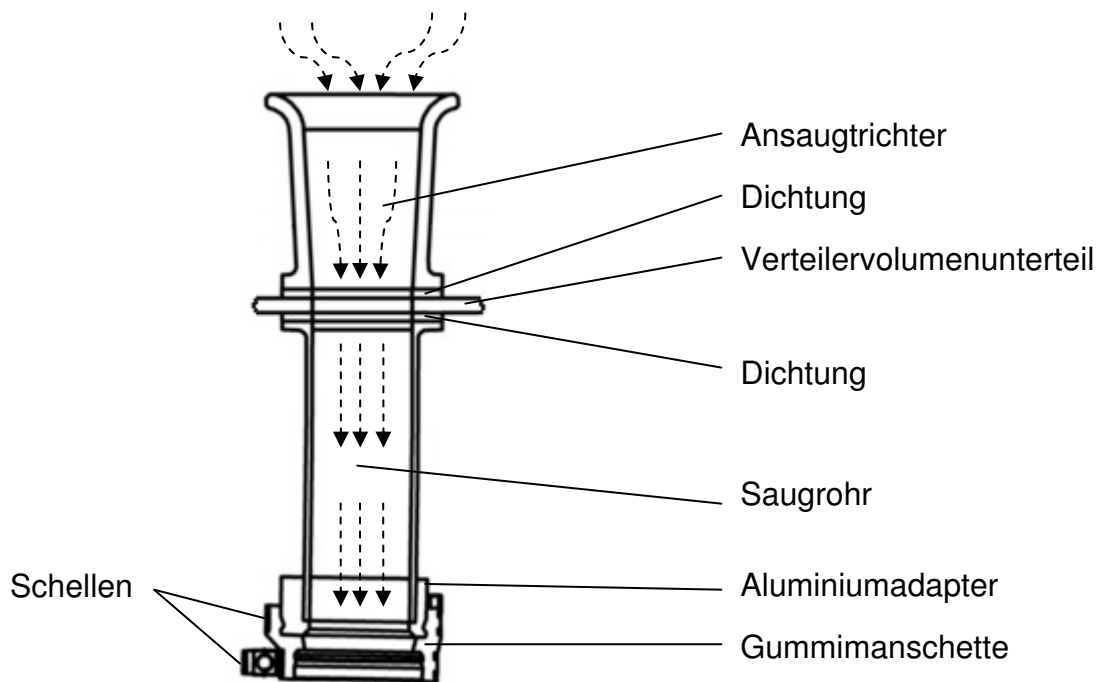


Abbildung 34: Saugrohr mit Ansaugtrichter und Motoranbindung

Das Saugrohr mit dem angeschlossenen Ansaugtrichter soll eine hohe Maximalleistung und ein gutes Ansprechverhalten des Motors erwirken. Die Saugrohrlänge setzt sich aus der Länge des Weges der Luft im Saugrohr und dem Weg im Ansaugtrichter zusammen. Der Durchmesser der Saugrohre ist groß gehalten, damit man einen hohen Luftaufwand in hohen Drehzahlen realisieren kann, wobei darauf geachtet wurde, dass dieser nicht zu groß ausfällt, da man sonst wieder ein Leistungstief in niedrigen Drehzahlen bekommt. Der Querschnittsverlauf ist eine Kombination aus einer Verjüngung mit anschließend gleichbleibenden Querschnittsverlauf bis zum Motor. Dies erzielt eine Geschwindigkeitszunahme in der Verjüngung und einer anschließend gleichbleibenden Geschwindigkeit. Dadurch wird eine Leistungssteigerung des Motors gegenüber einem auf dem ganzen Weg gleichbleibenden Querschnittsverlauf realisiert.

Das Ansprechverhalten hängt von der Länge des Weges der Luft von der Drosselklappe bis zum Brennraum ab. Ein sehr kurzer Weg führt zu einem sehr gu-

ten Ansprechverhalten, wohingegen ein langer Weg zu einem schlechten Ansprechverhalten führt. Durch Unterhaltungen mit Fahrern des Rennwagens vom Vorjahr hat sich herausgestellt, dass der Rennwagen der letzten Saison ein schlechtes Ansprechverhalten hatte, welches die Fahrer stark beeinflusste. Daher wurde bei der Konstruktion darauf geachtet, dass man das Ansprechverhalten verbessert. Dies gestaltete sich recht schwierig, da die Reihenfolge von Drosselklappe, Lavaldüse, Verteilervolumen und Einspritzung sowie der relative Verlauf vom Reglement der Formula Student vorgegeben wurde. Daher konnte nur an der Länge der Lavaldüse, welche oben schon erwähnt wurde gespart werden und an der Länge der Saugrohre. Die Längeneinsparung an der Lavaldüse wurde bereits in Punkt 4.3.3 erwähnt. Da man theoretisch nicht ermitteln kann, welche Saugrohlänge die Optimalste ist, sind die einzeln austauschbaren Ansaugtrichter vorgesehen. Sie dienen zur Optimierung der Saugrohlänge und der gleichmäßigen Versorgung der Brennräume.

Die Saugrohre sind aus CFK gefertigt um auch hier eine Gewichtseinsparung zu realisieren. Die dafür vorgesehenen positiven Laminierformen werden wieder gefräst und anschließend mit einem Blech versehen für die Fertigung eines Flansches für die spätere Verschraubung an das Verteilervolumen (Siehe Abbildung 35)

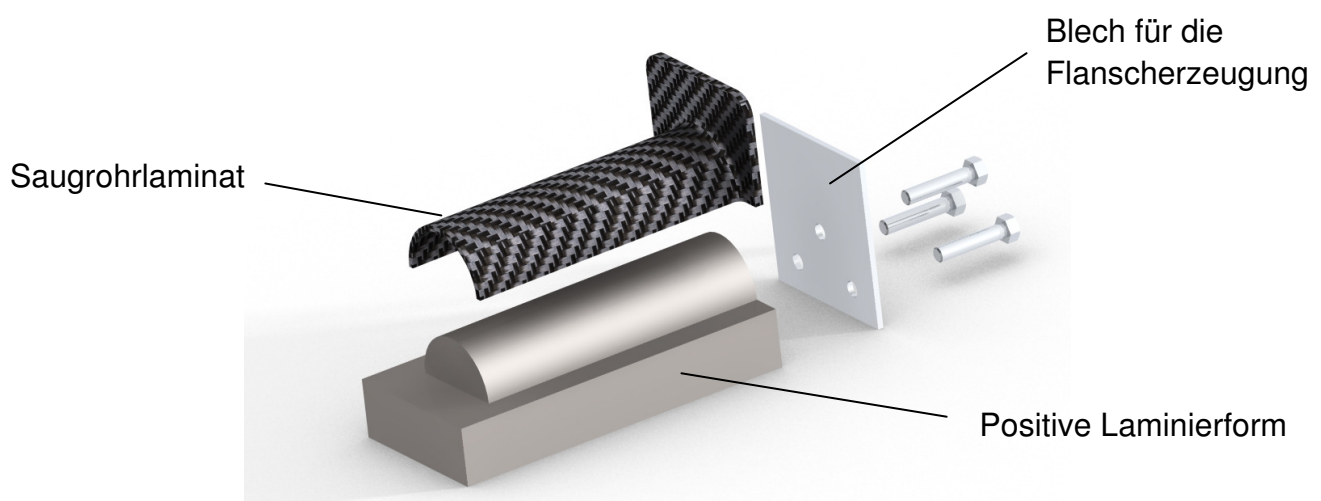


Abbildung 35: Fertigungsaufbau für ein Saugrohr

Die Flächen welche später als Klebeflächen verwendet werden, wurden mit Hilfe der positiven Laminierform gefertigt. Nach dem Aushärten des Laminates werden die einzelnen Saugrohr laminate miteinander verklebt. Hierzu wird wiederum ein angedicktes Kunstharz verwendet.

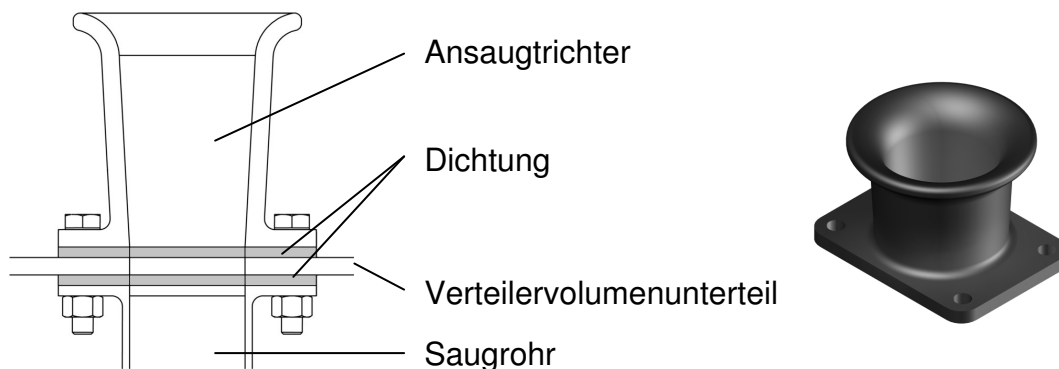


Abbildung 36: Ansaugtrichter

Bei den Ansaugtrichtern handelt es sich um eine Verlängerung der Saugrohre. Dies dient der gleichmäßigen Versorgung der Brennräume mit Luft und führt zu einer höheren Leistung des Motors. Da man im Vorhinein die theoretisch besten Längen nicht bestimmen kann, gibt es für jedes Saugrohr drei unterschiedlich lange Ansaugtrichter, welche beim Testen einzeln gewechselt werden können. Dadurch erlangt man außerdem eine kleine variable Anpassungsmöglichkeit der Leistungskurve des Motors, den wie oben schon erwähnt hängt die Leistungskurve von der Länge der Saugrohre ab. Somit könnte man das Leistungshoch in einen niedrigeren Drehzahlbereich schieben oder in einen höheren.

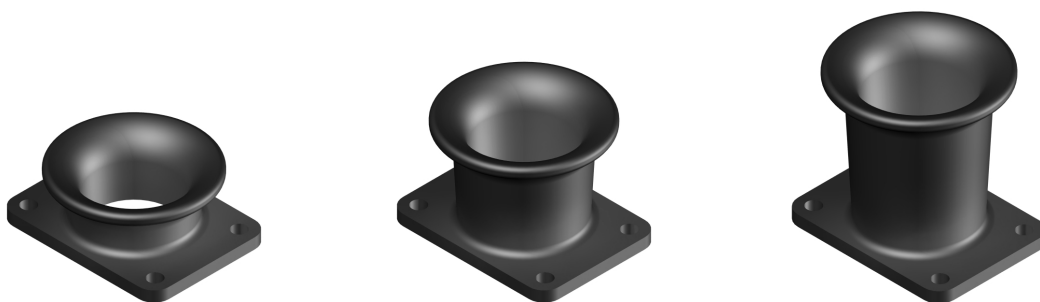


Abbildung 37: unterschiedlich lange Ansaugtrichter

Die Ansaugtrichter werden mittels Rapid Prototyping aus ABS gefertigt, da man diese nach der Entfernung des Stützmaterials gut schleifen kann und sie sehr leicht sind. Beim ersten Anlassen des Fahrzeuges ist uns jedoch aufgefallen, dass dieses Material nicht, wie in gewissen Quellen vorgegeben, Benzinresistent ist. Daher mussten wir diese aus Aluminium fertigen lassen und anschließend nachschleifen um eine glatte Wandung zu bekommen. Die Fluorkarbon-Kautschuk-Dichtungen wurden mittels Wasserstrahlschneiden gefertigt. Dieses Verfahren ermöglicht eine schnelle und präzise Fertigung der Teile und führt zu einem sehr guten Schnitt, welcher nicht ausfranst.

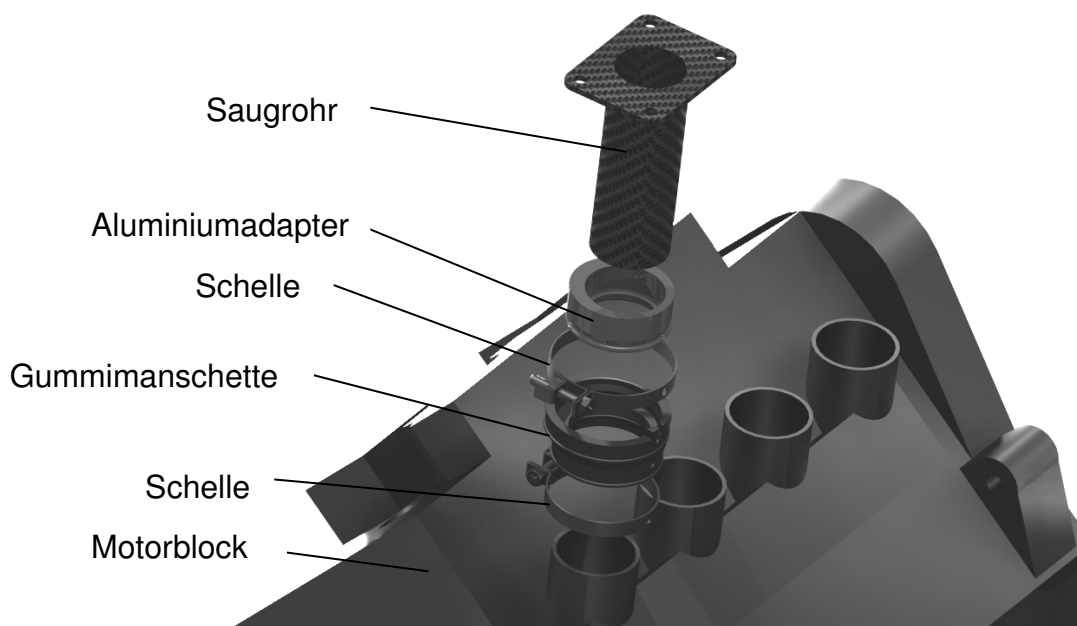


Abbildung 38: Motoranbindung

Der letzte Weg der Strömung geht durch die Anbindung der Saugrohre an die Einlasskanäle für die Luft des Motors. Hierbei war zu beachten, dass diese Anbindung so gestaltet ist, dass ein Ausgleich der Saugrohrabstände möglich ist, damit man bei leichten Abweichungen der Maße diese kompensieren kann. Die serienmäßige Anbindung an den Motor ist eine Gummimanschette, die mit Hilfe von Schellen an dem Einlasskanal befestigt wird. Dieses System kann wieder-

verwendet werden, indem man als Übergang von dem laminierten Saugrohr zu Gummimanschette ein Aluminiumdrehteil und Frästeil als Adapter einsetzt. Dieser Adapter wird auf das Saugrohr geklebt und anschließend ebenfalls mit einer Schelle an der Gummimanschette befestigt. Somit hat man einen dichten Übergang von Saugrohr zu dem Einlasskanal des Motors. Bei der Konstruktion des Aluminiumadapters war darauf zu achten, dass die Geometrie an die Gummimanschette angepasst wird. Diese besitzt eine außermittige Bohrung, die durch den engen Bauraum am Motor bei der serienmäßigen Ausführung vorgesehen wurde. Des Weiteren muss die Bohrung angeraut werden, um eine feste Klebverbindung herstellen zu können. Zum Einkleben der Saugrohre in die Adapter wird der Ansaugtrakt komplett zusammengebaut und auf den Motor gesteckt, um die Abweichungen der Saugrohrabstände ausgleichen zu können.

5. theoretische Strömungsanalyse

Bei der Strömungsanalyse galt es zu beweisen, ob die Form des Verteilervolumens die gleichmäßige Befüllung der Brennräume realisiert und es zu keinen größeren Verwirbelungen kommt. Dazu ist angenommen wurden, dass bei der maximalen Öffnung des Einlassventils, ein Unterdruck von 90000Pa herrscht, durch die abwärtsgerichtet Bewegung des Kolbens. Außerdem wurde angenommen, dass sich die Motordrehzahl im höchsten Bereich befindet, und die Luft dadurch im Durchflussbegrenzerring Schallgeschwindigkeit erreicht. Dieser Moment ist daher so ausschlaggebend, da man hier den größten Luftdurchsatz hat und die Taktzeiten sehr niedrig sind. Dies hat zur Folge, dass es zu einem Luftmangel kommt, wodurch es zur Begünstigung von Verwirbelungsbildung kommt. Die Schallgeschwindigkeit bei einer Temperatur von 30°C und einem Umgebungsdruck von 103125Pa lässt sich wie folgt ausrechnen.

$$\kappa = 1,4$$

$$R_i = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_{\text{Um}} = 30^\circ\text{C} = 303,15\text{K}$$

$$a = \sqrt{\kappa \cdot R_i \cdot T_{\text{Um}}}$$

$$a = \sqrt{1,4 \cdot 287 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot 303,15\text{K}}$$

$$a = \underline{\underline{349 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

κ ... Isentropenexponent [-]

R_i ... individuelle Gaskonstante von Luft [J/(kg K)]

T_{Um} ... Umgebungstemperatur [K]

a ... Schallgeschwindigkeit der Luft [m/s] [7]

Durch diese errechnete Schallgeschwindigkeit und der Annahme von dem Unterdruck von 90000Pa am Einlassventil, kann mit Hilfe der SolidWorks Strömungssimulation die Geschwindigkeit an einem Einlassventil ermittelt werden.

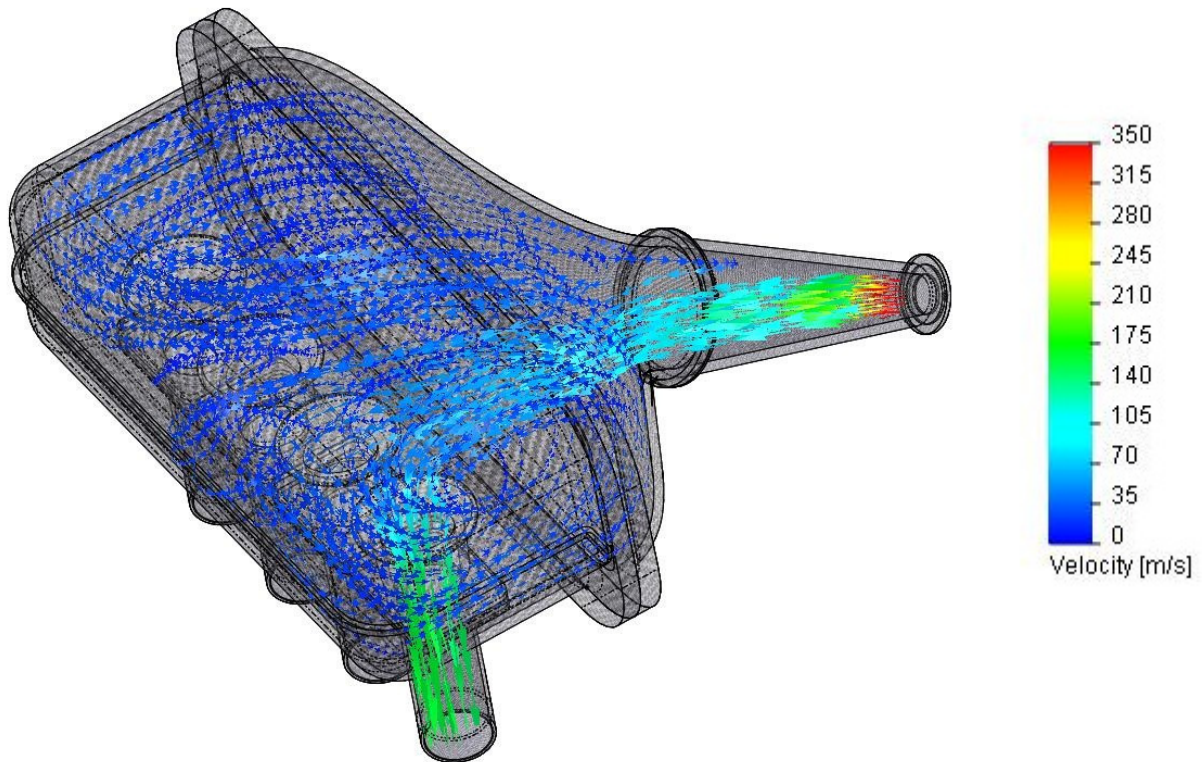


Abbildung 39: Geschwindigkeitsermittlung an einem Einlassventil

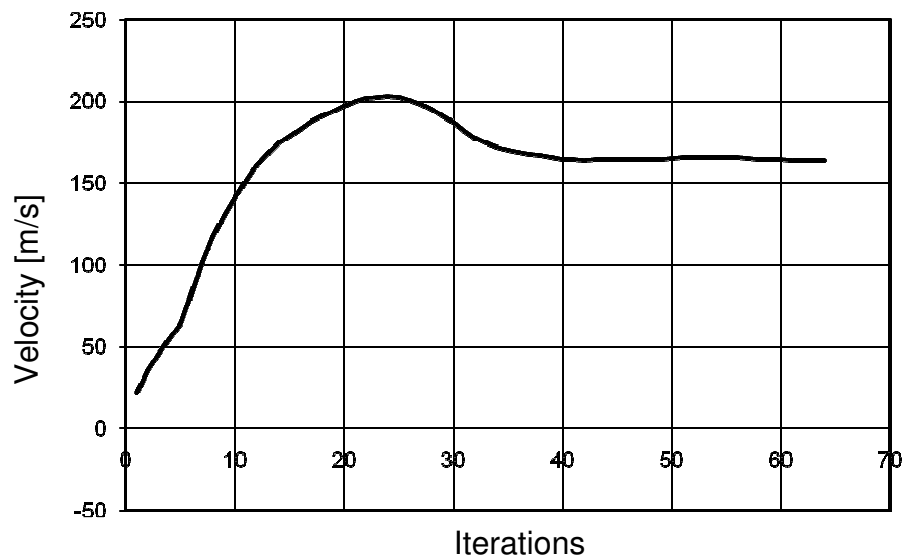


Abbildung 40: Anpassung der Geschwindigkeit

In der Abbildung 39 sehen sie das Ergebnis der Simulation anhand eines Schaubildes und in dem Diagramm 40 wird die Geschwindigkeitsangleichung am Einlassventil gezeigt.

Am Anfang der Geschwindigkeitsangleichung kommt es zu einer hohen Geschwindigkeit, da die Luft im Verteilervolumen einen höheren Druck aufweist als am Einlass herrscht. Dieser Überdruck wird als erstes ausgeglichen, da die Luft im Verteilervolumen durch den Unterdruck am Einlassventil angesogen wird. Nach dem schnellen Ausgleich wird die Luft nur noch über den Durchflussbegrenzerring angesaugt. Am Durchflussbegrenzerring hat die Luft maximal eine Geschwindigkeit kurz unter der Schallgeschwindigkeit und kann daher das Einlassventil nur begrenzt versorgen. Dies sieht man am Ende der Geschwindigkeitsangleichung, wo sich die Kurve in eine gerade legt. Dies ist die wahre Geschwindigkeit, die am Einlassventil theoretisch erreicht werden kann, wenn am Durchflussbegrenzerring Schallgeschwindigkeit erreicht wird.

Die Geschwindigkeit der Luft am Einlassventil wurde mit Hilfe einer nach unten geöffneten Parabel festgelegt. Die Nullpunkte sind dabei der Öffnungszeitpunkt und der Schließzeitpunkt des jeweiligen Einlassventils. Ist das jeweilige Ventil geschlossen, wird eine Geschwindigkeit von Null an dem Einlass des Ventils angenommen. Das Maximum der Parabel bildet die vorher ermittelte maximale Geschwindigkeit am Einlassventil. Somit werden die Einlassventil nach dem Einlasstakt 1-3-4-2 angesprochen und simuliert.

Hierbei sind, wie in den Abbildung 41- 47 zu sehen ist, folgende Erkenntnisse gemacht wurden. Die Luft wird bei voller Öffnung des jeweiligen Einlassventils ziemlich verwirbelungsarm und direkt angesaugt. Bei dem Wechsel der angesprochenen Ventile, kommt es durch die leichte Überschneidung zur leichten Verwirbelungen, welche jedoch sehr klein ausfallen. Durch diese Erkenntnisse kann man sagen, dass die Form des Verteilervolumens und die mittleren Ansaugtrichter die gleichmäßige Verteilung der Luft auf die Brennräume begünstigt.

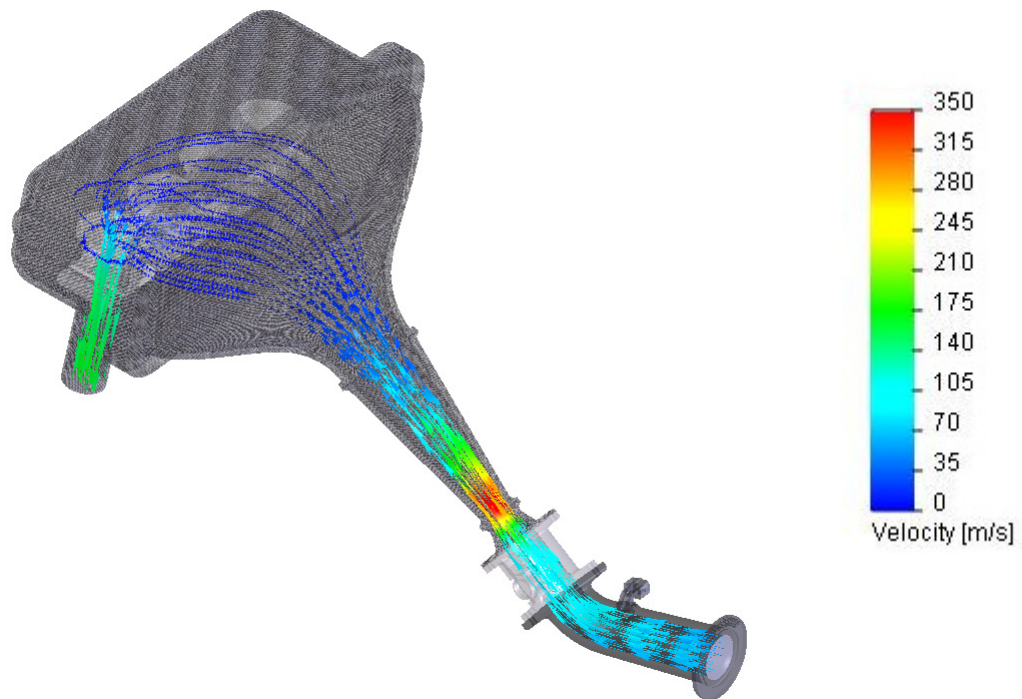


Abbildung 41: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 1

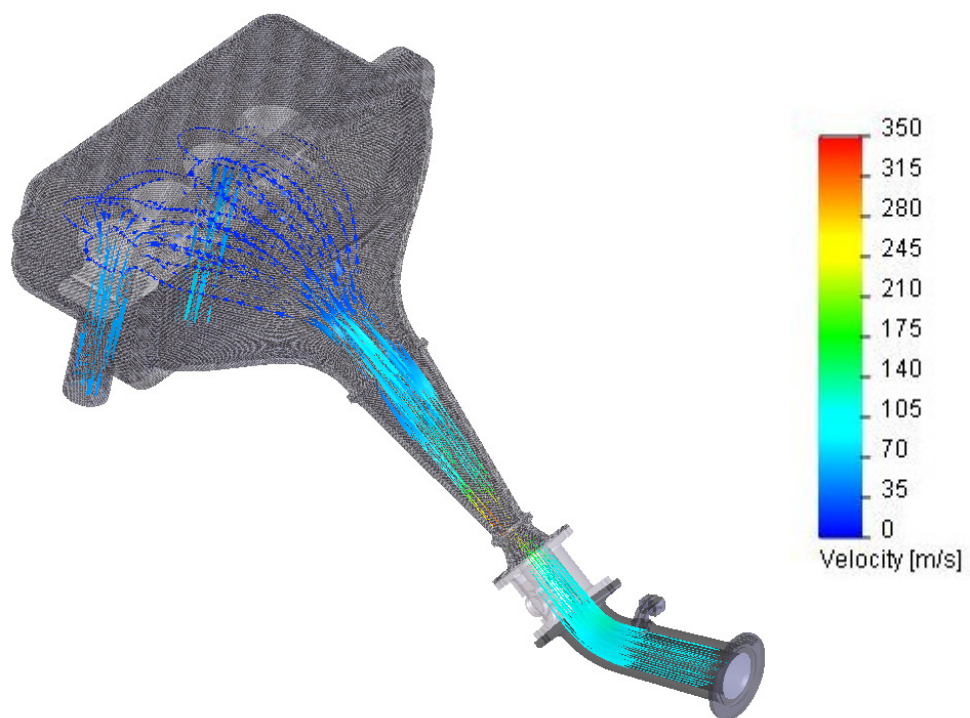


Abbildung 42: Luftströmung beim Übergang von Ventil 1 zu 3

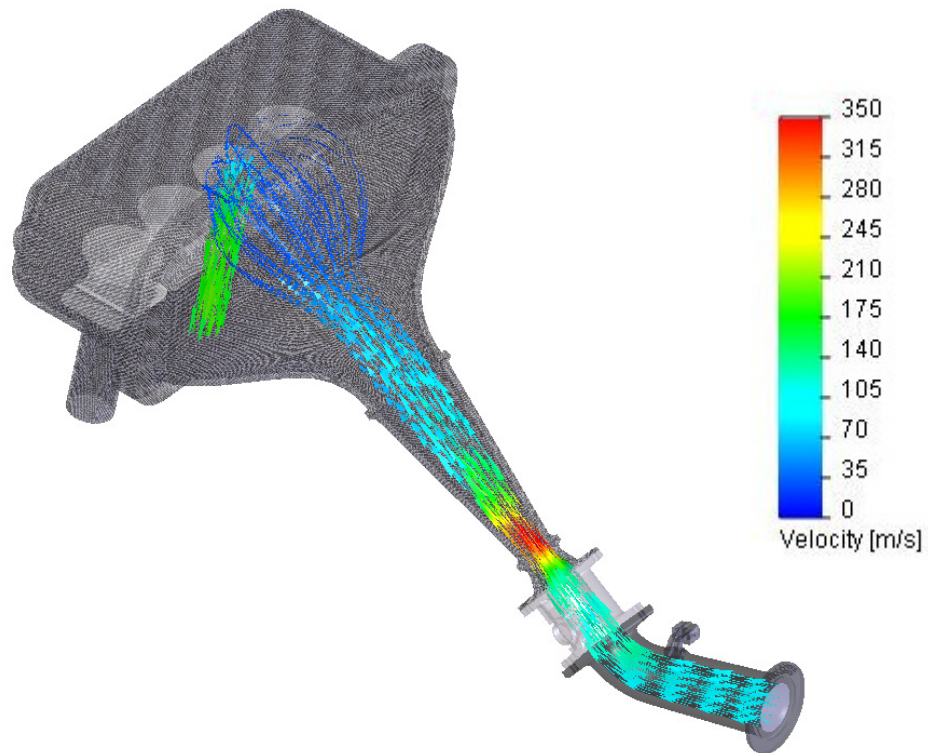


Abbildung 43: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 3

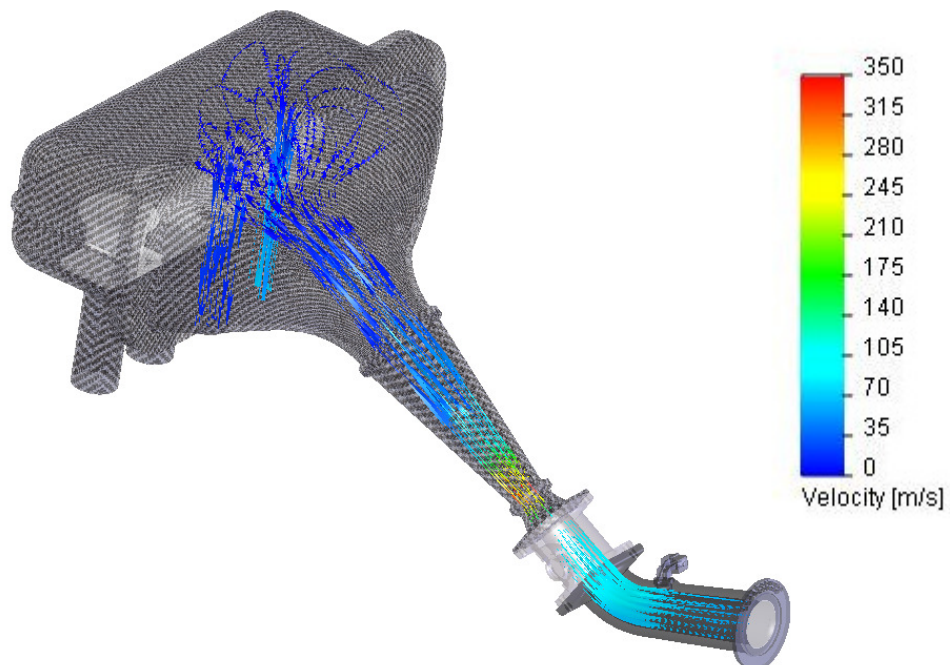


Abbildung 44: Luftströmung beim Übergang von Ventil 3 zu 4

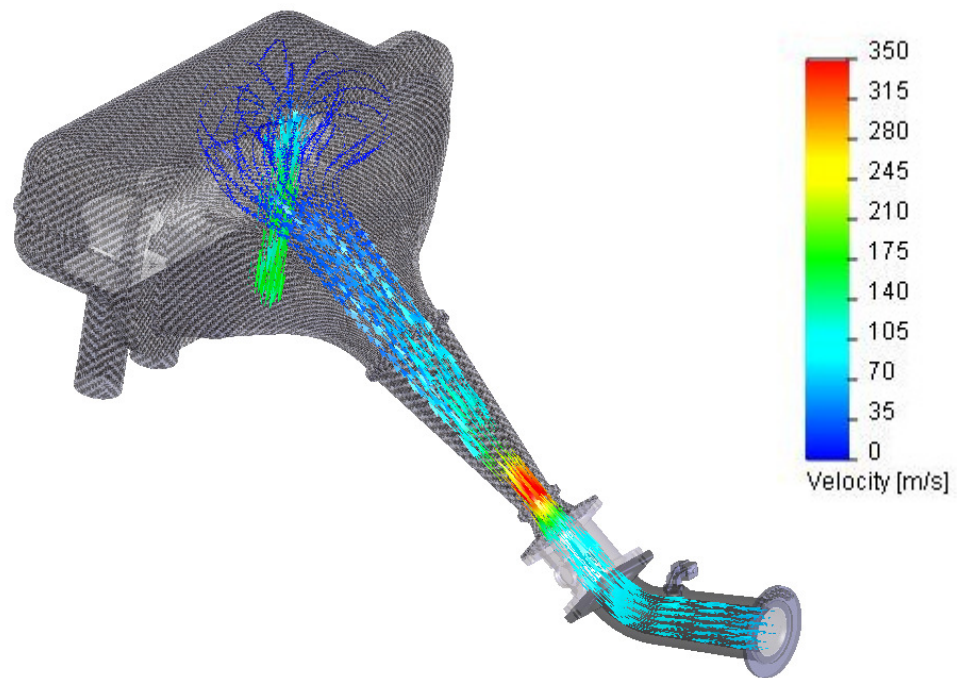


Abbildung 45: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 4

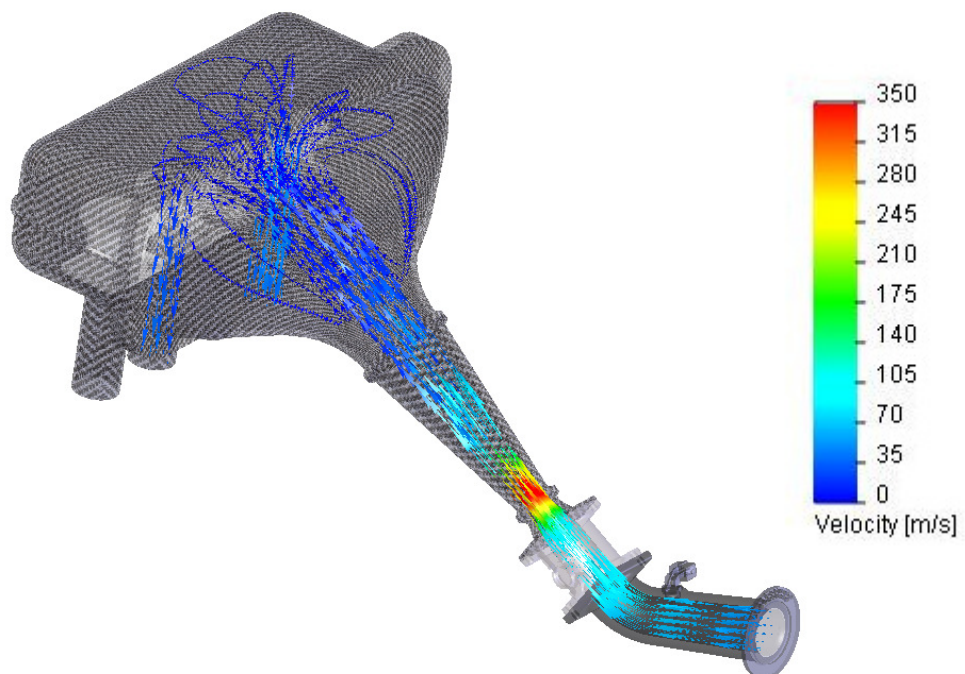


Abbildung 46: Luftströmung beim Übergang von Ventil 4 zu 2

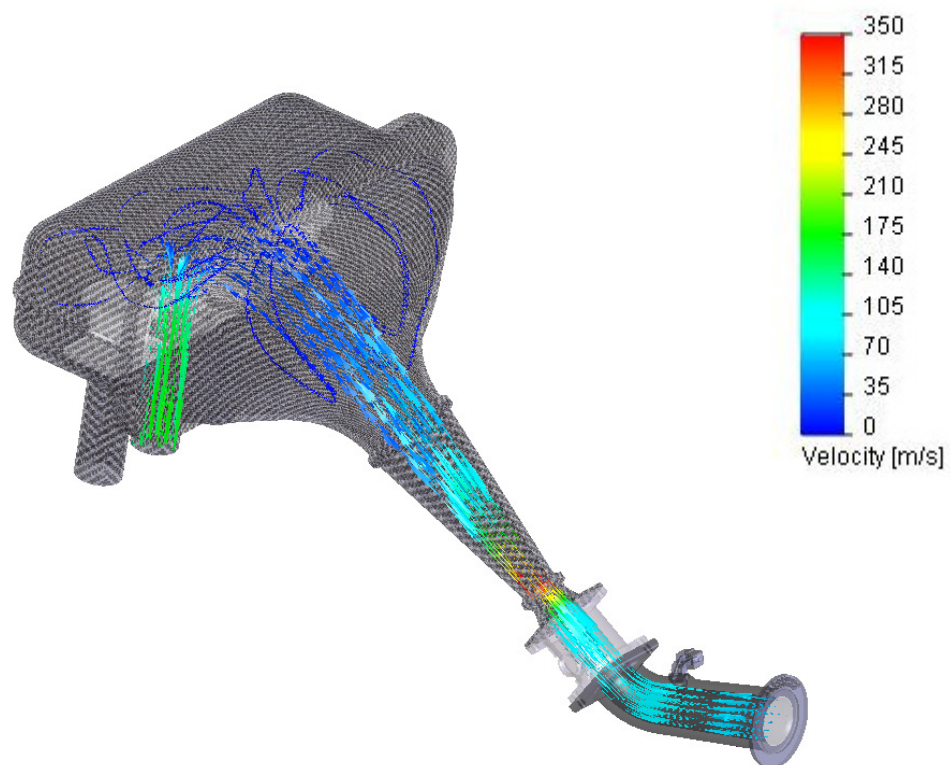


Abbildung 47: Luftströmung bei voller Öffnung von Ventil 2

6. Lamine aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen

Lamine aus faserverstärkten Kunststoffen sind fest, leicht und frei gestaltbare Werkstoffe aus in Kunstharz eingebetteten Fasern.

6.1 Zu verwendendes Fasermaterial

Glasfaser: Lamine (GFK) aus Glasfasern sind sehr kostengünstig und korrosionsbeständig, doch im Vergleich mit anderen faserverstärkten Verbundwerkstoffen besitzen sie ein relativ niedriges Elastizitätsmodul. Mit einer geeigneten Matrix besitzt das Laminat eine gute elektrische Isolationswirkung und wird daher oft auch in der Elektrotechnik eingesetzt.

Kohlefaser: Lamine (CFK) aus Kohlefasern sind sehr leicht und besitzen eine hohe Festigkeit sowie Steifigkeit. Daher werden sie oft in der Luft- und Raumfahrt sowie im Fahrzeugbau eingesetzt. Im Gegensatz zum GFK ist das CFK teurer in der Herstellung, elektrisch leitend und schlagempfindlicher.

Aramidfaser (Kevlar): Lamine aus Aramidfasern besitzen eine sehr hohe Festigkeit, hohe Schlagzähigkeit, hohe Bruchdehnung, gute Schwingungsdämpfung sowie Säure- und Laugenbeständigkeit. Desweiteren wirkt es elektrisch isolierend. Die Nachteile sind die teure Herstellung, die UV-Empfindlichkeit und dass das Laminat Feuchtigkeit aufnehmen kann. Die wichtigsten Anwendungsgebiete sind im Flugzeug- und Hubschrauberbau, als Elektro-

Isolatoren in Motoren und Transformatoren, als Abfanggewebe in schusssicheren Westen und Brandschutz in Feuerwehr- und Rennfahrerkombi.

6.2 Als Kunstharz kommt zum Einsatz

Polyesterharz: Es ist preiswert und leicht zu verarbeiten. Da es schnell aushärtet ist das Herstellen eines Laminates mit Polyesterharz nicht sehr Zeitintensiv. Die Oberflächen sind sehr glatt und glänzend. Jedoch ist es sehr spröde und neigt dazu Mikrorisse zu bilden.

Vinylesterharz: Es ist hochwertiger als Polyesterharz und besitzt die gleichen Eigenschaften, jedoch etwas teurer.

Epoxidharz: Das Harz ist nach der Aushärtung sehr elastisch und hochfest. Es ermöglicht eine lange Bearbeitungszeit, da es eine lange Aushärtezeit besitzt. Diese wirkt sich aber negativ auf die Herstellungszeit aus. Das Laminat wird zum Aushärten in eine Umgebung gebracht mit hoher Temperatur. Durch die lange Herstellungszeit und die benötigten Komponenten für die Herstellung, ist das Laminieren mit Epoxidharz sehr teuer.

Phenolharz: Es ist sehr hitzebeständig und wird daher für Hochtemperaturanwendungen genutzt.

Bei der Auswahl des geeigneten Fasermaterials und des Harzes wurde auf die Anwendung des Laminates und die Bearbeitungszeit geachtet. Das Kohlefasermaterial besitzt eine hohe Festigkeit und Steifigkeit, welche wir benötigen,

da es im Ansaugtrakt zu hohen Druckunterschieden kommt. Als Harz wurde Epoxidharz verwendet, da es sehr elastisch und hochfest ist. Außerdem besitzt es eine lange Aushärtezeit, was eine lange Bearbeitung ermöglicht.

7. Herstellung der laminierten Bauteile

Als erstes muss entschieden werden, ob man als Laminierform eine Positivform oder Negativform verwendet. Eine Negativform führt zu einer glatten äußeren Oberfläche, wohingegen eine Positivform zu einer glatten Innenfläche führt [1].



Abbildung 48: Positiv- und Negativform der Laminierform [1]

Da zur Verringerung der Wandreibung eine glatte Oberfläche im Ansaugtrakt benötigt wird, braucht man eine Positivform

Nach der Auswahl der Laminierform, benötigt man auch das passende Material dafür. Dieses sollte nach Möglichkeit geringe Kosten verursachen, eine sehr dichte Oberfläche besitzen und gut spannend bearbeitbar sein. Hier wurde auf gute Erfahrungen im Vorjahr zurückgegriffen, indem man das Kunststoffmaterial mit der Bezeichnung ebaboard S von Ebalta Kunststoff GmbH auswählte. Dieses Material ist direkt entwickelt worden für die Herstellung von Laminierformen und erfüllt daher auch alle Anforderung.

Betrachtet man nun die konstruierten Formen des Ansaugtraktes, stellt man fest, dass man die Teile nicht mit einmal laminieren kann. Daher ist es notwendig diese Teile sinnvoll zu teilen (siehe Abbildung 49) und nach der Fertigung wieder zu einem Teil zusammenzufügen. Dies erreicht man durch das Zusammenkleben der Einzelteile mittels angedickten Kunstharzes.

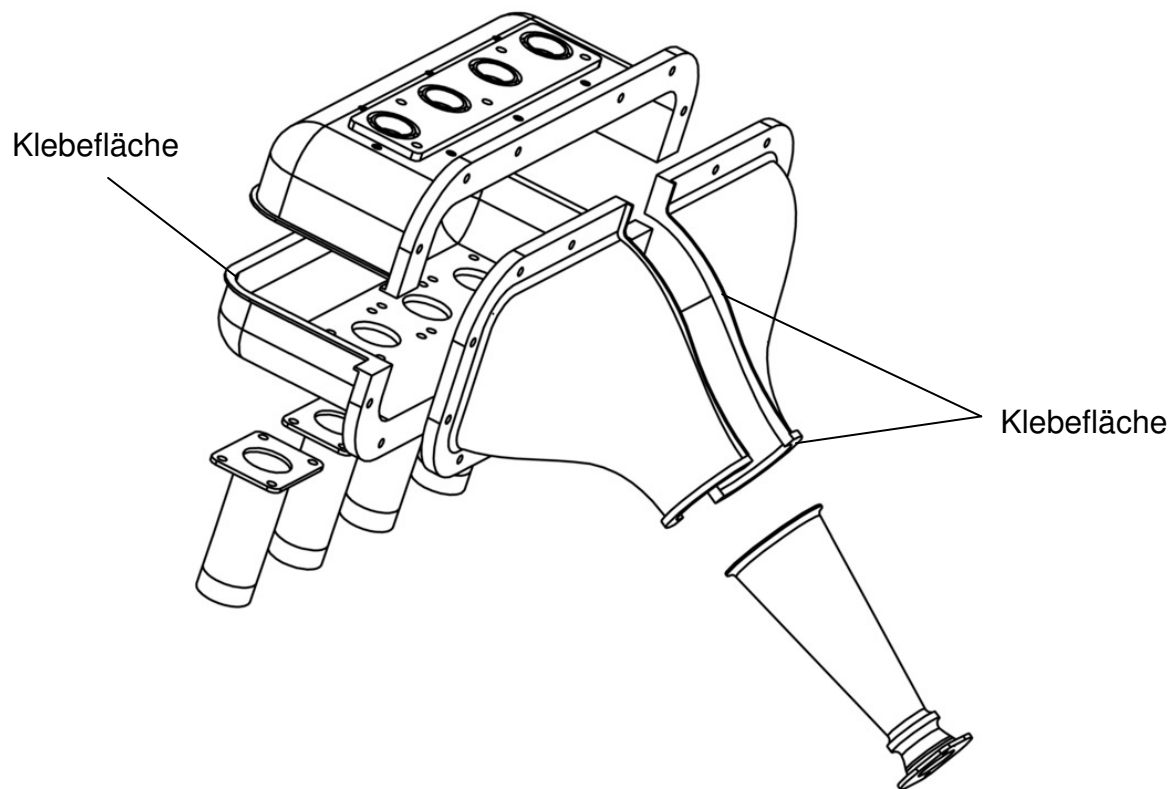


Abbildung 49: Aufteilung der Lamine

Desweiteren ist bei größeren Teilen darauf zu achten, eine Formschräge von $2-3^\circ$ bei der Konstruktion vorzusehen, damit man das Laminat nach der Aushärtung auch von der Laminierform lösen kann, ohne die Form zu zerstören.

Nach der Fertigstellung der Konstruktion wurden die Kunststoffplatten zurecht gesägt und mittels 5-Achs Fräsmaschine und Drehmaschine die Positivformen in der Fertigung des Fachbereichs gefertigt. Nach der Fertigstellung dieses Prozesses wurden die Formen nochmals geschliffen um eine glatte Oberfläche zu erreichen. Desweiteren wurde das zugeschnittene Stahlblech an den Enden angeschraubt, um die Flansch herstellen zu können. Um die Oberfläche noch feiner zu bekommen, ist ein Porenversiegler aufgetragen wurden. Damit man die Teile nach dem Aushärten des Laminates leicht von den Formen lösen kann hat man ebenfalls noch 3 Schichten Trennwachs und 3 Schichten Trennlack

aufgetragen. Hierbei wurde beachtet, dass bei dem Aufbringen des Wachses und des Lackes keine Blasen entstehen, welche die Oberfläche des Laminates wieder schädigen können. Das eigentliche Laminieren fand in der Cotesa GmbH statt.

Im folgend werden die einzelnen Arbeitsschritte des Laminierens für Sichtkarbon an einem Teil des Ansaugtragtes beschrieben.

Die vorbehandelten Formen werden zunächst mit einer Schicht angedickter Harzmasse, ein Gemisch bestehend aus Harz, Härter und Glasfaserpulver, bestrichen. Anschließend werden zugeschnittene Rovins, kleine Kohlefaserstränge, in die Kanten gelegt. Sie vermeiden den Einschluss von Luft an den Kanten und geben den Kanten die nötige Steifigkeit. Im Anschluss daran wird die erste von 8 Kohlenfaserschichten gelegt und mit dünnflüssiger Harzmasse bestrichen. Hierbei wird mit Hilfe eines Pinsels die Kohlefaserschicht an die Form angetupft und gleichzeitig mit Harzmasse getränkt. Die weiteren Schichten werden im gleichen Prinzip auf die Form aufgetupft. Im Bereich der Flansche, welche zum verkleben und verschrauben gedacht sind, werden extra Schichten aufgelegt, um diese Steifer zu machen. Nach der letzten Lage wird noch eine Schicht Abreisgewebe aufgelegt und mit Harz getränkt. Diese hat zur Folge, dass nach der Aushärtung eine schöner zu bearbeitende Oberfläche entsteht, wenn man das Abreisgewebe entfernt. Nun wird um das Laminat Lochfolie und ein Saugvlies gelegt und alles zusammen in einen Luftdichten Beutel verpackt. Dieser besitzt ein Ventil über welches man die überschüssige Luft aus dem Beutel ziehen kann. Das somit geschaffene Vakuum sorgt für ein anpressen des Laminates an die Laminierform und das herausdrücken von überschüssigen Harz und eventuell eingeschlossener Luft. Das im Vakuum verpackte Laminat kam anschließend noch für 6 Stunden bei 60°C in den Ofen, damit es Aushärten kann.

Nach der Aushärtung wurde zuerst die Vakuumfolie, das Vlies und die Lochfolie entfernt. Anschließend wurde mit Hilfe von einer Zange das Abreisgewebe entfernt. Dies stellte sich als ziemlich kompliziert heraus, da sich durch die Va-

kuumbehandlung das Abreisgewebe sehr stark in die jeweiligen Kanten gezogen hatte und daher schwer zu entfernen war. Nach dem äußeren entfernen des Fertigungsmaterials, wurde das Laminat von der Form befreit. Durch das Erhitzen im Vakuum hat sich das Laminat sehr stark an die Form angepasst und ist dadurch sehr schwer von der Form zu bekommen. Bei der Konstruktion wurde daher schon auf Form des Laminates zur einfacheren Entfernung der Laminierformen geachtet. Trotz dieser konstruktiven Vorarbeit musste zum Entfernen Keile und Druckluft verwendet werden.

Nun waren die Lamine fertig und konnten noch mittels Endbearbeitung aneinander angepasst und verschönert werden.

Zum Anpassen der einzelnen Teile wurde zur Bearbeitung des Laminates ein Dremmel genutzt, da man mit diesem kleine aber auch große Flächen recht schnell bearbeiten kann. Nach dem groben zuschneiden der jeweiligen Teile, wurden diese mit angedicktem Kunstharz verklebt und für 24 Stunden aushärten gelassen. Nach der Aushärtung wurden die Teile gebohrt und verschraubt. Nun kam der Endzuschnitt mittels Dremmel, bei dem man die Teile untereinander von der äußeren Form anpasst, so dass keine scharfen Kanten mehr vorhanden sind und die Bohrung für die spätere Verschraubung. Um auch äußerlich optisch gut zu glänzen haben wir die einzelnen Lamine, welche so laminiert wurden, dass wir Sichtkarbon erhalten, mit Hilfe von Sandpapier äußerlich geschliffen und im nach hinein mit einem Klarlack lackiert. So kommt das Muster des Karbons sehr gut zur Geltung.

8. Erprobung und Zusammenfassung

Während der Zeit der Anfertigung dieser Bachelorarbeit wurde dieser Ansaugtrakt im Technikum Mittweida Motorsport Team gefertigt und im Rennen der Formula Student in Silverstone trotz schlechter Platzierung mit einem positiven Ergebnis getestet. Die vor der Konstruktion analysierten Verbesserungsbereiche

wurden sehr gut umgesetzt und somit hat man bei mehreren Testfahrten festgestellt, dass das Ansprechverhalten sich im Gegensatz zum Vorjahr verbessert hat und die Maximalleistung sich erhöht hat. Dennoch kommt es bei diesem Ansaugtrakt zu einzelnen Verpuffungen, die jedoch viel seltener Vorkommen als im Ansaugtrakt des Vorjahres und die vor dem Rennen das Verteilervolumen an den Klebestellen auseinander gerissen hat. Durch die ganz feine Zerstäubung des Kraftstoffes und die Verwirbelung dieser mit Luft gebildeten Dämpfe, setzen sich diese an den Wänden des Verteilervolumens ab und werden nicht in die Ansaugtrichter gesaugt. Durch eventuelle Zeitfehler in der Ansteuerung der Zündkerzen kommt es zu Zündungen in den Brennkammern während das Einlassventil offen ist. Dadurch wird das abgesetzte Gemisch im Ansaugtrakt gezündet und es kommt zur Verpuffung. Es ist nicht möglich diese Verpuffung zu vermeiden, wenn es zu solchen Fehlzündungen kommt. Daher kann vielleicht in der nächsten Saison eine Art Überdruckventil für den Ansaugtrakt vorgesehen werden, welches die Verpuffung und die damit verbundene Aufblähung und Belastung des Verteilervolumens verringert.

Des Weiteren ist anzumerken, dass eine frühere Fertigung der Komponenten besser für die Erprobung ist und man somit auch mehr Zeit hat für auftretende Fehler und Problem. Dieses Jahr wurde der Ansaugtrakt innerhalb von 2 Monaten gebaut, obwohl dieser eine Zeit von mindestens 3 Monate voraussetzt. Dies führte zu unnötigen Komplikationen in der Terminierung bei der Fertigung und zu teilweise überstürzte Handlungen, wie bei der Bohrung des Verteilervolumens für die Verschraubung des Verteilervolumenunterteils mit dem –oberteil. Daher ist eine Fertigungszeit von mindestens 3 Monaten vorzusehen und damit eine frühzeitige Abschließung in der Konstruktionszeit anzusetzen.

9. Literaturverzeichnis

[1] Suter Kunststoffe AG: Formenbau mit GFK, Herstellung einer Kunststoffform. URL: <<http://www.swiss-composite.ch/pdf/iformenbau.pdf>>, verfügbar am 08.08.2010

[2] SAE International: 2010 Formula SAE Rules.
URL: <<http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/2010fsaerules.pdf>>, verfügbar am 08.08.2010

[3] Formula Student Germany: FSG Rules 2010.
URL: < http://www.formulastudent.de/uploads/media/FSG_RULES_2010_ver1.03.pdf >, verfügbar am 08.08.2010

[4] Formula Student Germany: Formula Student Germany Konzept.
URL: < <http://www.formulastudent.de/about/concept/>>, verfügbar am 08.08.2010

[5] HP-Textiles: Grundlagen Handlaminieren.
URL: <http://www.hp-textiles.com/arbeitsanleitungen/aa_Grundlagen_Handlaminieren.pdf>, verfügbar am 08.08.2010

[6] Trzesniowski, Michael: Rennwagentechnik, Grundlagen, Konstruktion, Komponenten, Systeme. - 1. Aufl. - Wiesbaden: Vieweg + Teubner | GWV Fachverlage GmbH, 2008

[7] Bohl, Willi: Technische Strömungslehre: Stoffeigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen, Hydrostatik, Aerostatik, inkompressible Strömungen, kompressible Strömungen, Strömungsmesstechnik / Willi Böhl. - 10. durchges. Aufl. – Würzburg: Vogel, 1994

10. Anlagenverzeichnis

- A.1 Baugruppenzeichnung Ansaugtrakt Saison 2009-2010
- A.2 Adapter
- A.3 Teilzeichnung Dichtung Ansaugstutzen
- A.4 Teilzeichnung Anbindungsblech
- A.5 Teilzeichnung Umlenkblech
- A.6 Teilzeichnung Lavaldüse
- A.7 Teilzeichnung Durchflussbegrenzerring
- A.8 Teilzeichnung Verteilervolumenoberteil (links)
- A.9 Teilzeichnung Verteilervolumenoberteil (rechts)
- A.10 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (oben)
- A.11 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (unten)
- A.12 Teilzeichnung Befestigungsblech
- A.13 Teilzeichnung Dichtring Einspritzung
- A.14 Teilzeichnung Dichtung Verteilervolumen
- A.15 Teilzeichnung Ansaugtrichter 15
- A.16 Teilzeichnung Ansaugtrichter 35
- A.17 Teilzeichnung Ansaugtrichter 55
- A.18 Teilzeichnung Dichtung Ansaugtrichter
- A.19 Teilzeichnung U-Profil (Verteilervolumenoberteil)
- A.20 Teilzeichnung U-Profil (Verteilervolumenunterteil)
- A.21 Teilzeichnung Dichtung Saugrohr
- A.22 Teilzeichnung Saugrohr (links)
- A.23 Teilzeichnung Saugrohr (rechts)
- A.24 Ansaugstutzen

B.1 Baugruppenzeichnung Lavaldüsenfertigung

B.2 Teilzeichnung Lavaldüsenpositiv (kurz)

B.3 Teilzeichnung Lavaldüsenpositiv (lang)

B.4 Teilzeichnung Lavaldüsenpositiv Seiten Teller

C.1 Baugruppenzeichnung Verteilervolumenoberteilfertigung (links)

C.2 Teilzeichnung Verteilervolumenoberteil (Positiv links)

C.3 Teilzeichnung Flanschdeckel Verteilervolumenoberteil

C.4 Teilzeichnung Grundplatte Verteilervolumenoberteil

D.1 Baugruppenzeichnung Verteilervolumenoberteilfertigung (rechts)

D.2 Teilzeichnung Verteilervolumenoberteil (Positiv rechts)

E.1 Baugruppenzeichnung Verteilervolumenunterteilmfertigung (oben)

E.2 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (Positiv Einspritzseite)

E.3 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (Positiv Einspritzungsteller)

E.4 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (Positiv Seitenplatte)

F.1 Baugruppenzeichnung Verteilervolumenunterteilmfertigung (unten)

F.2 Teilzeichnung Verteilervolumenunterteil (Positiv Saugrohrseite)

G.1 Baugruppenzeichnung Saugrohrfertigung (links)

G.2 Teilzeichnung Saugrohr Positiv (links)

G.3 Teilzeichnung Saugrohr Flanschplatte

H.1 Baugruppenzeichnung Saugrohrfertigung (rechts)

H.2 Teilzeichnung Saugrohr Positiv (rechts)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern Herrn Prof. Dr.-Ing. Weidemann, für die Vergabe und Betreuung der Bachelorarbeit, sowie Herrn Dipl.-Ing. Wüstrich für seine hilfreichen Anregungen während dieser Zeit. Des Weiteren bedanke ich mich beim Herrn Süchting und Herrn Tzschunke, welche mir während der Fertigung der gebrauchten Teile mit ihrem Wissen und ihrer Geduld geholfen haben.

Ein weiteres Dankeschön geht zudem an Herrn Prof. Dr.-Ing. Gebhardt für die vielen praktischen Tipps und Diskussionen rund um den Aufbau des Ansaugtraktes und an alle Teammitglieder des Technikum Mittweida Motorsports, die mir bei der Fertigung des Ansaugtrakts so tatkräftig geholfen haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich besonders bei meiner Freundin bedanken, die mir durch ihre fortwährende Unterstützung, ihren Beistand und viel Geduld dieses Studium und die damit verbundene Bachelorarbeit ermöglicht hat.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Bearbeitungsort, Datum

Unterschrift